

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLARI İÇİN TEŞVİK
UYGULAMALARI ve BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim Halil KILIÇ

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL

MAYIS 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLARI İÇİN TEŞVİK
UYGULAMALARI ve BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İbrahim Halil KILIÇ
(301131045)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL

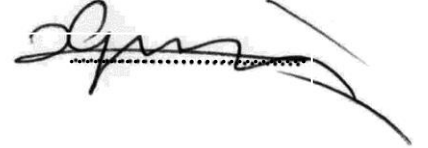
MAYIS 2016

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301131045 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İbrahim Halil KILIÇ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TÜRKİYE’DE RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLARI İÇİN TEŞVİK UYGULAMALARI ve BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İRDELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Önder GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gelengül KOÇASLAN
İstanbul Üniversitesi



Teslim Tarihi : 2 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 6 Haziran 2016





Aileme,



ÖNSÖZ

Enerji yatırımları, piyasaya, teknolojiye, arz ve talebe göre yapılan uzun vadeli yatırımlardır. Uzun vadeli yatırımların fizibilitesi piyasadaki mevcut koşullara göre belirlenmektedir. Elektrik piyasasında ise yatırımcılar spot elektrik fiyatlarını baz alarak yatırım kararı vermektedir. Bu yüksek lisans tezi kapsamında Türkiye Elektrik Piyasası'nda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik enerjisine verilen alım garantili teşviklerin sürdürülebilirliğinin incelenmesi ve günümüzün artan enerji talebi çerçevesinde, her ülke için öz kaynak durumunda olan ve yenilenebilir enerji kaynağı olması açısından tercih edilen en önemli kaynaklardan rüzgar enerjisi için sürdürülebilir teşvik mekanizmaları oluşturacak önerilerin sunulması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada öncelikli olarak gerekli olan tüm yönlendirmeleri yapan, hatalarımı düzelter ve her aşamasında desteğini esirgemeyen çok değerli Hocam, Tez Danışmanım Sayın **Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL**'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Piyasa analizi konusunda uzman takımı ile Türkiye Elektrik Piyasası'nın gelişmesine destek sağlayan ve bu çalışmanın gerçekleşmesinde önemli katkısı olan APLUS Enerji'ye, başta Ozan KORKMAZ olmak üzere tüm ekip çalışanlarına, yardımları için teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca bana her konuda destek olan, aldığım her kararda her zaman yanımda olan anneme, babama ve hayatımı paylaşacağım Ayşe Gizem Özçelik'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tüm değerli dostlarım ve çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Mayıs 2016

İbrahim Halil KILIÇ
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ SANTRALLARI	5
2.1 Enerji	5
2.2 Yenilenebilir Enerji Tanımı ve Sınıflandırılması	5
2.2.1 Yenilenebilir enerji kavramı	5
2.2.2 Yenilenebilir enerji santralleri	6
2.2.3 Yenilenebilir enerji santrallerinin dünyadaki yeri ve gelişimi	11
2.2.4 Yenilenebilir enerjinin Türkiye’deki yeri ve gelişimi.....	14
3. RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLARININ TANITIMI	19
3.1 Rüzgar Enerjisi ve Kullanım Alanları	19
3.2 Rüzgar Enerjisi Santral Tipleri.....	21
3.2.1 Dönme eksenlerine göre rüzgar türbinleri	24
3.2.2 Kanat sayısına göre rüzgar türbinleri	28
3.2.3 Jeneratör tiplerine göre rüzgar türbinleri	32
3.2.4 Kurulum yerlerine göre rüzgar türbinleri.....	33
3.3 Rüzgar Enerji Santrallerinin Dünyadaki Yeri ve Gelişimi.....	35
3.4 Rüzgar Enerji Santrallerinin Türkiye’deki Yeri ve Gelişimi	40
4. RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİNİN EKONOMİK ANALİZİ	47
4.1 Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Birim Maliyet Ekonomisi	47
4.1.1 Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (SEM)	48
4.2 Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Yatırım Maliyeti	51
4.2.1 Tesis alan maliyeti	51
4.2.2 Türbin Maliyeti	52
4.2.3 İletim maliyeti	54
4.3 Proje Giderleri	55
4.3.1 İşletme-bakım maliyeti	55
4.3.2 Sigorta maliyeti	56
4.3.3 Vergi maliyeti	58
4.3.4 İşletim sistemi kullanımı ve işletim maliyeti	60
4.4 Amortisman Maliyeti	61
4.4.1 Ekonomik ömür.....	61
4.4.2 Hurda değeri.....	62
4.4.3 Amortisman hesabı yöntemleri	62

4.5 Finansal Analiz.....	63
4.5.1 Net bugünkü değer analizi	64
4.5.2 Geri ödeme süresi analizi	64
4.5.3 Fayda maliyet analizi	65
4.5.4 İç karlılık oranı analizi	66
4.5.5 Duyarlılık ve risk analizi	67
4.6 Mali Durum Değerlendirmesi.....	67
4.6.1 Enflasyon oranı	68
4.6.2 İskonto oranı.....	69
4.6.3 Proje finansmanı.....	69
4.6.4 Proje yatırım maliyeti.....	71
4.6.5 Proje işletme-bakım maliyeti	73
4.6.6 Proje gelirleri.....	73
4.7 Ekonomik Analiz Sonuçları	74
4.7.1 Borç finansman maliyeti	75
4.7.2 Üretilen elektriğin maliyeti	76
4.7.3 Projenin net bugünkü değeri	78
4.7.4 Yatırımın geri dönüş süresi analizi.....	79
4.7.5 Fayda maliyet oranı analizi	83
4.7.6 İç karlılık oran analizi	83
4.7.7 Duyarlılık Analizi.....	87
5. RÜZGAR SANTRALLERİN ENERJİ PİYASASINA ETKİSİNİN APLUS BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İNCELENMESİ.....	89
5.1 APLUS Bilgisayar Programı Tanıtımı	89
5.2 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Hedefleri.....	95
5.3 Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Projeksiyonlarının Türkiye Elektrik Piyasası'na Etkisi.....	97
5.3.1 Rüzgar santrallarının hedefe uygun devreye giriş (Realistik) senaryosunun APLUS Bilgisayar Programı ile incelenmesi.....	97
5.3.2 Rüzgar santrallarının devreye giriş projeksiyonunun pesimistik senaryo kapsamında APLUS Bilgisayar Programı ile incelenmesi.....	99
5.3.3 Rüzgar santrallarının devreye giriş projeksiyonunun optimistik senaryo kapsamında APLUS Bilgisayar Programı ile incelenmesi.....	101
5.3.4 Rüzgar santrallarının devreye giriş projeksiyonunun 2023 hedefleri kapsamında APLUS Bilgisayar Programı ile incelenmesi.....	103
5.3.5 APLUS Bilgisayar Programı ile Yapılan Rüzgar Santrallerinin Devreye Giriş Senaryolarının Mukayeseli Değerlendirilmesi.....	105
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	109
KAYNAKLAR.....	115
EKLER	121
ÖZGEÇMİŞ	125

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AR-GE	: Araştırma Geliştirme
BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
BNEF	: Bloomberg New Energy Finance
BP	: British Petrol (İngiliz Petrol)
DEKTMK	: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EC	: European Commission (Avrupa Komisyonu)
EIA	: U.S. Energy Information Administration
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EÜAŞ	: Elektrik Üretim A.Ş.
EWEA	: European Wind Energy Association (Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği)
GW	: Gigawatt
GWh	: Gigawatthour (Gigavatsaat)
GWEC	: Global Wind Energy Council (Global Rüzgar Enerjisi Konseyi)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IRENA	: International Renewable Energy Agency (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı)
IRR	: Internal Rate of Return (İç Karlılık Oranı)
İHD	: İşletme Hakkı Devri
KDV	: Katma Değer Vergisi
kVA	: Kilovoltamper
kW	: Kilowatt (Kilovat)
kWh	: Kilowatthours (Kilovatsaat)
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
M.Ö.	: Milattan Önce
MW	: Megawatt
MWt	: Megawatt Thermal (Megavat Isı)
NBD	: Net Bugünkü Değer
NREL	: National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
OES	: Ocean Energy Systems (Okyanus Enerjisi Sistemleri)
OTC	: Over The Counter (Tezgah Üstü Piyasa)
RES	: Rüzgar Enerjisi Santralleri
SEM	: Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
TC	: Türkiye Cumhuriyeti

TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TÜFE	: Tüketici Fiyat Endeksi
TÜREB	: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
TWh	: Terawatthour (Teravatsaat)
VUK	: Vergi Usul Kanunu
YEPP	: Yenilenebilir Enerji Eylem Planı
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
Yİ	: Yap İşlet
YİD	: Yap İşlet Devret
YTM	: Yük Tevzi Merkezi
WAsP	: Wind Atlas Analysis and Application Program (Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Bölgesel iletim sistemi kullanım bedeli tarifesi (TL/MW-yıl).	60
Çizelge 4.2 : 30 MW'lık Rüzgar Santrali Yatırım Maliyeti.	72
Çizelge 4.3 : Projede kullanılacak olan rüzgar türbin detayları.	76
Çizelge 4.4 : Farklı senaryolara göre ekonomik ömrü boyunca enerji üretim değerleri.	78
Çizelge 4.5 : Farklı senaryo ve finansman modellerine göre projenin net bugünkü değeri.	79
Çizelge 4.6 : Farklı senaryo ve finansman modellerine göre projenin fayda/maliyet oranı.	83
Çizelge 6.1 : ETKB 2015-2019 A2. Performans Göstergesi 3.2 Rüzgar Enerjisi Performans Göstergeleri.	96
Çizelge 6.2 : Türkiye'de rüzgar enerjisi santralleri için verilmiş ve verilecek olan lisans kapasiteleri.....	97



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Hidroelektrik Santrali Çalışma Prensibi Şeması.	8
Şekil 2.2 : Doğal Biyokütle Çevrimi.	9
Şekil 2.3 : Dalga Enerjisi Çalışma Prensibi.	11
Şekil 2.4 : Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynak Bazında.	13
Şekil 2.5 : Yenilenebilir Enerjiden Tüketilen Elektrik Kaynak Bazında Dağılımı.	13
Şekil 2.6 : 2013-2014 Türkiye Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.	14
Şekil 2.7 : Türkiye Hidroelektrik Enerji Kurulu Gücünün Gelişimi.	16
Şekil 2.8 : Ülke Bazında Jeotermal Enerji Kurulu Güç Kapasitesi.	17
Şekil 3.1 : Basit Rüzgar Çevrimi.	19
Şekil 3.2 : İran-Afganistan Sınırında Yer Alan Yel Değirmeni.	21
Şekil 3.3 : Amerikalı Charles F. Brush Tarafından İnşa Edilen İlk Rüzgar Türbini.	22
Şekil 3.4 : Poul La Cour'ın 25 Kw'lık Rüzgar Türbini.	23
Şekil 3.5 : Rüzgar Türbinleri Sınıflandırması.	24
Şekil 3.6 : Rüzgarı Önden ve Arkadan Alan Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri.	25
Şekil 3.7 : 1986 Yılında Devreye Alınan Tehachapi Pass Darieus Tipi Rüzgar Santrali.	26
Şekil 3.8 : Çin'de Kurulan Savonius Tipi Küçük Ölçekli Rüzgar Santrali.	27
Şekil 3.9 : Eğik Eksenli Rüzgar Türbin Tasarımı.	28
Şekil 3.10 : Tek Kanatlı Rüzgar Santrali Bologna, İtalya.	29
Şekil 3.11 : Çinli MingYang Firmasının 6.5 MW Gücündeki İki Kanatlı Rüzgar Türbini.	29
Şekil 3.12 : Rüzgar türbin gücü tarihsel gelişimi.	30
Şekil 3.13 : Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri, Hollanda.	31
Şekil 3.14 : Çin'in Gansu Bölgesinde Yapımı Devam Eden Dünyanın En Büyük Kara Üstü (Onshore) Rüzgar Santrali.	34
Şekil 3.15 : İngiltere'nin Kent Coast bölgesinde bulunan Açık Deniz (Offshore) Rüzgar Türbini.	35
Şekil 3.16 : Global Kümülatif Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü 2000-2015.	37
Şekil 3.17 : Açık Deniz (Offshore) Rüzgar Enerjisinde Lider Ülkeler.	37
Şekil 3.18 : Güncel Global Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Bölgesel Dağılımı.	38
Şekil 3.19 : Bölgeler Arası Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Dağılımı.	39
Şekil 3.20 : Küresel Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü ve Önemli Ülkelerin Kurulu Gücü.	39
Şekil 3.21 : Türkiye'nin 2015 Yılı Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Dağılımı.	41
Şekil 3.22 : 2007 Yılında Hazırlanan Türkiye Rüzgar Haritası.	42
Şekil 3.23 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Kümülatif Kurulu Güç.	43
Şekil 4.1 : Rüzgar enerjisinden üretilen elektrikliğin birim fiyat analizine etki eden faktörler.	48

Şekil 4.2 : Seviyelendirilmiş Enerji Maliyetinin Bölgesel Dağılımı.	50
Şekil 4.3 : Kara Tipi (Onshore) RES Yatırım Dağılımı.	53
Şekil 4.4 : Deniz Tipi (Offshore) RES Yatırım Maliyeti Dağılımı.	53
Şekil 4.5 : ABD’de Proje Gücüne Göre Tarihsel Türbin Fiyatları.	54
Şekil 4.6 : İşletme-Bakım Maliyet Endeksinin Geçmiş Yıllardaki Değişim Trendi.	56
Şekil 4.7 : Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası TÜFE Enflasyon Oranları ve Hedefleri.	68
Şekil 4.8 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, optimistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.	79
Şekil 4.9 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, realistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.	80
Şekil 4.10 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, pesimistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.	80
Şekil 4.11 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, pesimistik ötesi senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.	81
Şekil 4.12 : %100 öz sermayeli finansmanı, optimistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.	81
Şekil 4.13 : %100 öz sermayeli finansmanı, realistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.	82
Şekil 4.14 : %100 öz sermayeli finansmanı, pesimistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.	82
Şekil 4.15 : %100 öz sermayeli finansmanı, pesimistik ötesi senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.	83
Şekil 4.16 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, optimistik senaryo, iç karlılık oranı.	84
Şekil 4.17 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, realistik senaryo, iç karlılık oranı.	84
Şekil 4.18 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, pesimistik senaryo, iç karlılık oranı.	85
Şekil 4.19 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, pesimistik senaryo, iç karlılık oranı.	85
Şekil 4.20 : %100 öz sermaye, optimistik senaryo, iç karlılık oranı.	86
Şekil 4.21 : %100 öz sermaye, realistik senaryo, iç karlılık oranı.	86
Şekil 4.22 : %100 öz sermaye, pesimistik senaryo, iç karlılık oranı.	87
Şekil 4.23 : %100 öz sermaye, pesimistik ötesi senaryo, iç karlılık oranı.	87
Şekil 4.24 : Projenin Net Bugünkü Değerinin İskonto Oranı ve Kapasite Faktörüne Karşı Duyarlılığı.	88
Şekil 5.1 : APLUS simülasyon çalışmasında göz önünde bulundurulmuş parametreler.	90
Şekil 5.2 : APLUS Bilgisayar Programı Tahmin Metodolojisi.	93
Şekil 5.3 : Realistik senaryo giriş parametreleri, rüzgar enerjisi yıllık kurulu güç artışı.	98
Şekil 5.4 : Realistik senaryo kapsamında 2016-2025 yılları arasında kurulu güç artış öngörüsü.	98
Şekil 5.5 : Realistik senaryo simülasyon sonuçları, 2016 – 2025 yılları arasındaki Türkiye spot elektrik fiyatları yıl ortalaması TL/MWh.	99
Şekil 5.6 : Pesimistik senaryo giriş parametreleri, rüzgar enerjisi yıllık kurulu güç artışı.	100
Şekil 5.7 : Pesimistik senaryo kapsamında 2016-2025 yılları arasında kurulu güç artış öngörüsü.	100
Şekil 5.8 : Pesimistik senaryo simülasyon sonuçları, 2016 – 2025 yılları arasındaki Türkiye spot elektrik fiyatları yıl ortalaması TL/MWh.	101
Şekil 5.9 : Optimistik senaryo giriş parametreleri, rüzgar enerjisi yıllık kurulu güç artışı.	102

Şekil 5.10 : Optimistik senaryo kapsamında 2016-2025 yılları arasında kurulu güç artış öngörüsü.	102
Şekil 5.11 : Optimistik senaryo simülasyon sonuçları, 2016 – 2025 yılları arasındaki Türkiye spot elektrik fiyatları yıl ortalaması TL/MWh.....	103
Şekil 5.12 : 2023 hedef senaryo giriş parametreleri, rüzgar enerjisi yıllık kurulu güç artışı.	104
Şekil 5.13 : 2023 hedef senaryo kapsamında 2016-2025 yılları arasında kurulu güç artış öngörüsü.	104
Şekil 5.14 : 2023 hedef senaryo simülasyon sonuçları, 2016 – 2025 yılları arasındaki Türkiye spot elektrik fiyatları yıl ortalaması TL/MWh.....	105
Şekil 5.15 : APLUS Bilgisayar Programı ile yapılan senaryo çalışmasının karşılaştırmalı gösterimi.	105
Şekil 5.16 : Farklı senaryolar çerçevesinde 2023 yılındaki Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü.....	106
Şekil 5.17 : Farklı senaryolar çerçevesinde spot elektrik fiyatları ile teşvik fiyatları arasındaki fark.	107
Şekil 5.18 : APUS Bilgisayar Programı 2025 Yılı Kurulu Güç Öngörüsü.	108



TÜRKİYE’DE RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLARI İÇİN TEŞVİK UYGULAMALARI ve BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İRDELENMESİ

ÖZET

Enerjinin üretimi, dağıtımı ve tüketimi ancak bir ihtiyacın karşılanması durumunda anlam kazanmaktadır. Mekanik güç ihtiyacı, termik ihtiyaçlar, hammadde ihtiyaçları ve aydınlanma ihtiyaçlarının karşılanması için enerji önemli argüman olmaktadır. Bu bağlamda, enerji kaynakları da enerji politikaları içinde önemli bir yer tutmaktadır.

Enerji konusunda yaşanan herhangi bir sıkıntı toplumların hem üretim kapasitesi ve çeşitliliğinde hem de hayat kaliteleri üzerinde direkt olarak etkisini göstermektedir. Bu nedenle enerji arzı konusu devlet yöneticilerinin gündemlerini devamlı meşgul ederken aynı zamanda uluslararası ilişkilerin şekillenmesinde de başat rol sahibi olmaktadır. Bu bağlamda, enerji arz güvenliği, kimi zaman sıcak çatışma sebebi olarak kimi zaman da zorunlu işbirliği sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır. 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi esnasında ortaya çıkan kaos ve sonrasında kendini gösteren yeni dünya düzeni bu durumun en iyi bilinen örneğini oluşturmaktadır. Bugüne gelindiğinde fosil yakıtların iklim açısından sürdürülebilirlik problemi ve yenilenebilir enerji teknolojilerindeki büyük gelişmelerin devletler muvazenesindeki uluslararası dengeleri değiştirmesi beklenmektedir.

Bilinen en eski çağlardan itibaren sürekli artış gösteren dünya nüfusu, sanayileşme oranları, gelişen teknoloji ve modern toplumların enerji yoğun bir hayat tarzını benimsemeleri global enerji tüketiminde sürekli bir artış trendi oluşmasına neden olmuştur. Çeşitli kurumlarca bu trendin devam edeceği öngörülmektedir. Bu öngörülere göre 2008-2035 aralığında yıllık enerji talep artış oranı OECD ülkeleri için % 0,6 , OECD’ye üye olmayan ülkeler için % 2,3 , dünya genelinde ise %1,6 olarak gerçekleşmesi beklenmektedir.

Dünyada çevresel etkiler ve sürdürülebilir kalkınma için farkındalık arttıkça, yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi de engellenemez şekilde artmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerjinin popüler bir konu olması, enerji sektörüne özgü olmayan birçok yatırımcıyı da yenilenebilir enerji yatırımı yapmaya çekmektedir.

2014 sonu itibarıyla, yenilenebilir enerji sektörüne yapılan yatırımlarda önemli bir toparlanma yaşandığı görülmektedir. Son 3 yıl boyunca küresel yeni yatırımlar yükseliş trendine girerek 2014 yılında 2013 yılına göre %17’lik bir artışla toplam 270 milyar \$’a ulaşmış bulunmaktadır. Gelişmekte olan ekonomilerde yapılan yatırımlar, %36’lık bir artışla, neredeyse bu konuda sadece %3 artış kaydedebilen gelişmiş ekonomilerdeki toplam yatırıma ulaşmıştır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, dalga ve biyokütle enerjisidir. Bu enerji kaynaklarının, enerjinin üretimi ve dönüştürülmesi sırasında çevresel sorunları minimum düzeye indirilmesiyle kullanımı her geçen gün artmaktadır. Önemli yenilenebilir enerji

kaynaklarından biri de rüzgar enerjisidir. Yer değiştiren hava kütesinin iş yapabilme yeteneği bağlamında rüzgar enerjisi potansiyelinden bahsedilebilir.

İklim değişikliği ile mücadele ve aynı zamanda tüm ülkeler için kendi enerji arz güvenlikleri için önemli rol oynayan rüzgar enerjisi 2000 yılından itibaren önem kazanarak diğer yenilenebilir enerjiler içinde kayda değer bir pozisyona sahip olmuştur. 2000 yılında 17 GW olan toplam kapasite sadece on beş yıl içinde yaklaşık 25 kat artarak 2015 yılında 432 GW'a yükselmiştir. Bu artış, yaklaşık yıllık % 25 büyüme anlamına gelmektedir.

Dünyada yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik etmek için yapılan uygulamalara baktığımızda özellikle elektrik üretimini destekleyen tarifeler yoluyla mali teşviklerin (feed-in-tariff) ve şirketlerin elektrik üretim portföyünde yenilenebilir enerji kaynaklarına zorunlu pay vermesini sağlayan düzenlemelerin (renewable-portfolio-standarts) ön plana çıktığı görülmektedir.

Türkiye'de sektöre uygulanan en belirgin teşvik özel belirlenmiş tarifeler yoluyla yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilecek elektriğe USD bazlı ve uzun vadeli alım garantisi verilmesi olmaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji üretimi yatırımları için kullanılan ekipmanlar Türkiye menşeli ise, özel tarife artırılarak uygulanmaktadır.

Günümüzün artan enerji talebi çerçevesinde, her ülke için öz kaynak durumunda olan ve yenilenebilir enerji kaynağı olması açısından tercih edilen en önemli kaynaklardan birisi de rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisinin elektrik tüketimindeki payında artışın sağlanması için sürdürülebilir teşvik mekanizmaları kaçınılmazdır. Bu çalışmada, APLUS Bilgisayar Programı ile Türkiye Elektrik Piyasası'ndaki rüzgar santrallerinin teşvik mekanizması irdelenerek farklı senaryolar kapsamında elektrik fiyatları analiz edilmiştir.

APLUS Bilgisayar programı kapsamlı bir yazılım olup tüm algoritmalar APLUS Enerji tarafından geliştirilmiştir. Türkiye Elektrik Sektörünün modellenmesi, analizinin yapılması, gelecek öngörülerinin analiz edilmesi ve piyasa izlemesine yönelik çift yönlü analiz yapılmasına olanak veren bir programdır. APLUS Bilgisayar Programı ile sektör analizi, elektrik fiyat tahmin modellemesi, elektrik talebi tahmin modellemesi, işletme rejimi optimizasyon modelleri, portföy optimizasyon modelleri analiz edilebilmektedir.

Programın metodolojisi çift yönlü model anlayışı üzerine geliştirilmiş olup ilgili saatte arz ile talebin kesiştirildiği noktada marjinal fiyat esasına dayalı olarak spot fiyatın belirlenmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda öncelikle yıllık talep tahmini yapılmaktadır. Talep tarafı yıllık olarak tahmin edilip saatlik profillere kırıldıktan sonra arz tarafı için üretim tahmini yapılmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle ithalat ve ihracata ilişkin kapasite faktörleri ile rüzgar, jeotermal, nehir tipi hidro, biyokütle gibi yenilenebilir tipli santrallerin kapasite faktörleri dikkate alınarak üretim tahmini yapılmaktadır. Daha sonra Yap İşlet Devret, Yap İşlet tipli santrallerin öngörülen üretimleri ve puant saatlerde üretim yaptığı varsayılan rezervuar tipli hidrolik santrallerin tahmini üretimleri hesaplanmaktadır. Gelecek yıllara ilişkin öngörülen bu üretim tahminleri toplanarak talep tahmininden düşürülmektedir. Geriye kalan talep miktarı ise marjinal maliyet esasına göre sıralanan termik santrallerin ilgili saatte piyasaya sundukları emre amade kapasitesi ile eşleştirilmektedir. Böylelikle, talep ile arzın kesiştiği noktada bulunan ilgili santralin marjinal maliyeti o saatteki spot market fiyatını oluşturmaktadır.

Türkiye’de yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve enerji verimliliğinin geliştirilmesi yönünde yasal düzenlemeler getirilmiştir. 2020 yılına kadar işletmeye girecek olan rüzgar santralleri için, santralin işletmeye giriş tarihinden itibaren 10 yıl boyunca 73 \$/MWh'lik teşvikli alım garantisi verilmektedir. Ayrıca, rüzgar türbinlerinde kullanılan mekanik ve/veya elektromekanik aksamın tamamının yerli üretim olması halinde sabit alım fiyatının üzerine 5 yıl süre ile ek teşvikler uygulanmaktadır.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin teşvik edilmesinin elektrik piyasasına etkisini incelemek amacıyla 2016-2025 tarihleri arasında kurulu güç artışının değişimi öngörülmüş olup, devreye alınacak rüzgar enerjisi santralleri için alım garantisi teşviğinin 4 farklı senaryoda analizi yapılarak spot elektrik piyasası fiyatlarının değişimi gözlenmiştir.

Alım garantili teşvik kapsamında, rüzgar enerjisi kurulu gücünün, toplam kurulu güçteki payının artması spot elektrik piyasası fiyatlarını aşağı yönlü baskılayıcı etki göstermektedir. Elektriğin temiz, kaliteli, ucuz ve sürekli üretimi açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde artış göstermesi olumlu karşılanabilir. Ancak, rüzgar, güneş gibi doğal kaynaklar üretkenlik bakımından değişkendir. Güneşin parladığı ya da rüzgarın estiği günler ülkede elektrik talebinin yüksek olduğu günlerle eşleşmezse beklenmedik enerji kesintileri yaşanabilir. Bu sebeple, kesintisiz ve sürdürülebilir bir enerji portföyü içinde yenilenebilir enerjinin rolü baz yük elektrik santrallerini destekleyici şekilde planlanmalıdır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında Türkiye Elektrik Piyasası’nda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik enerjisine verilen alım garantili teşviklerin farklı senaryolar altında spot piyasadaki elektrik fiyatlarına 2016-2025 yılları arasında etkisi APLUS Bilgisayar Programı ile simule edilmiştir. Sonuç olarak yenilenebilir enerji kaynakları için sürdürülebilir teşvik mekanizmasının uygulanması gerekliliği öngörülmüştür.



THE ANALYSIS OF WIND ENERGY SUPPORT MECHANISMS IN TURKEY AND THE EVALUATION BY COMPUTER PROGRAM

SUMMARY

Production, distribution, and consumption of energy only gains meaning when a need is met. Energy is an important argument for the means of to meet the needs for mechanical power, thermal requirements, raw material needs, and lighting requirements. Therefore, energy resources have also an important role in the energy policy.

Any problem experienced in the issue of energy shows the effect of societies both directly in the capacity and variety of production and on quality of life. For this reason, the issue of power supply plays a lead role in the forming of international relations while at the same time occupying the agendas of state administrators, and even confronts us sometimes as a cause for hot conflicts and at others a cause of mandatory cooperation. The chaos that came out of the oil crisis of the 1970s and the new world order that showed itself afterwards is the best example of this situation. Today, the sustainability problem of fossil fuels with regards to climate and large developments in renewable energy changing international balances in the equilibrium between states is expected.

Global population, which has shown continuous grown beginning from the earliest known ages, rates of industrialization, technological development and modern societies adopting an energy intensive lifestyle have caused a constant growth trend in global energy consumption. It has been predicted by various organizations that this trend will continue. According to these predictions, the rate of increase of annual energy demand will be 0.6% for OECD countries, 2.3% for non-OECD countries, and 1.6% for the world in general.

At the end of 2014, a substantial recovery has been experienced in investments made in the renewable energy sector. In the last 3 years, global new investments entered an increase trend and reached \$270 billion in 2014 with an increase of 17% compared to 2013. With an increase of 36%, investments made in developing economies have reached the total investments in developed economies that have only recorded an increase of 3% on this issue.

Renewable energy sources that are used prevalently today are hydro, wind, solar, geothermal, and biomass energy. The use of these energy sources increase each passing every day together with the reduction of environmental problems to minimum levels during the production of energy and their conversion. One of the most important sources of renewable energy is wind energy. The work ability of the moving air masses represent the wind energy potential.

Wind energy, which plays an important role in the fight against climate change and at the same for countries in the security of their power supply, has possessed a significant position amongst the other renewable energies by gaining importance

since 2000. The total capacity, which in the year 2000 was 17 GW, has in just 15 years increased roughly 25 times and has been able to reach 432 GW in 2015. This increase means an annual increase of around 25%.

When looking at practices for making to encourage renewable energy investments in the world, we see that financial incentives through tariffs (feed-in-tariff) that support electricity production in particular and regulations (renewable-portfolio-standards) that ensure that companies give a mandatory share to renewable energy sources in their electricity production portfolios are coming into prominence.

The most significant incentive application to the sector in Turkey is the giving of long-term, USD-based guarantees of purchase for electricity to be produced from renewable energy sources through specially determined tariffs. Furthermore, a special tariff is increasingly being applied if equipment used for renewable energy production investments is made in Turkey.

In the scope of the rising demand for energy today, one of the most important sources that is a core source for every country and is preferred with regards to it being a renewable energy source is wind energy. The sustainable incentive mechanisms for ensuring the increase of wind energy in the share of electricity consumption are inevitable. In this study, electricity prices were analysed in the scope of different scenarios with incentive mechanisms of wind plants in the Electricity Market of Turkey being investigated through the APLUS Computer Program.

The APLUS Computer Program is a comprehensive piece of software and all algorithms were developed by APLUS Energy. It is a program that enables the modeling of the Electricity Sector of Turkey, the carrying out of analysis, the analysis of predictions for the future, and dual analysis for following the market. With the APLUS Computer Program, sector analysis, estimation modeling of electricity prices, estimation modeling of electricity demand, administration regime optimization models, and portfolio optimization models can be analyzed.

The methodology of the program was developed on the fundamental model understanding and facilitates the determination of the spot price based upon the marginal price foundation at the point where supply and demand are crossed at the relevant time. In this context, annual demand predictions are made in particular. After demand definitions are predicted annually and broken down to hourly profiles, the production estimation is made for the supply definition. In this scope, production estimations are made by taking the capacity factors of renewable type plants like wind, geothermal, river-type hydro, and biomass, with capacity factors related in particular to import and export into consideration. After this, the predicted production of Build Operate Transfer and Build Operate type plants and the estimated production of reservoir-type hydro plants assumed to produce at peak hours are calculated. These production estimations predicted for coming years are collected and taken from estimations of demand. The remaining demand amount is matched with the capacity at disposal that thermal plants ordered according to a marginal price basis offer to the market at relevant times. In this manner, the marginal cost of the relevant plant at points when supply crosses demand creates the spot market price for that hour.

Legislative regulations have been brought in directed at increasing the use of renewable energy in Turkey and improving energy efficiency. For wind plants that are to go into operation before 2020, a 10-year promotional purchase guarantee of 73

\$/MWh starting from the date the plant commences operation is being given. Furthermore, if all the mechanical and/or electromechanical parts to be used in the wind turbines are made domestically, additional incentives are being implemented for a 5-year period on the fixed purchase price.

With the aim of examining the effect of the encouraging of electricity production from wind energy on the electricity market, change in the increase of the installed capacity between 2016 and 2025 is being predicted and it has been observed in the forecast that if the purchase guarantee incentives would change for wind energy plants that are to be brought into operation is to continue that spot electricity market prices are effected.

In the scope of the purchase guarantee incentive, the increasing of the share of the installed capacity of wind energy in the total installed capacity shows a suppressing effect in lowering spot electricity market prices. With regards to clean, quality, cheap, and continuous production of electricity, the increase of renewable energy sources in electricity production can be received positively. However natural resources such as wind and the sun are variable in terms of productivity. If days when the sun shines and winds blow do not match days when the demand for energy in the country is high, unexpected power cuts can be experienced. For this reason, it must be planned for the role of renewable energy to support base load electricity plants in a continuous and sustainable energy portfolio.

As a result, so long as the purchase guarantee incentives given for electrical energy produced from wind energy continue in the Turkish Energy Market, it has been simulated with the APLUS Computer Program based on the different scenarios that electricity prices in the spot market will be effected between the years 2016 and 2025. A dynamic mechanism is needed for the sustainable incentive mechanism.



1. GİRİŞ

Enerji, kısaca iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Enerjiye olan ihtiyaç insanlık tarihi boyunca hep var olmuştur. Enerjinin kullanımı ilk zamanlarda yaşamı sürdürebilmek ve hayatta kalmak için kas gücüyle elde edilirken, zamanla doğal kaynaklar kullanılarak nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojiyle birlikte büyük bir ivme ile artış göstermiştir. Sanayi devrimi ile makineleşen endüstri, enerjiye yeni bir bakış açısı kazandırmıştır (Akova, 2008).

Enerjiye olan talep, dünya nüfusunun artışı, gelişen ülkelerin enerji yoğun hayat tarzını benimsemesi sebebiyle sürekli artış göstermektedir. Global enerji talebinin önemli bir kısmı günümüzde fosil kaynaklar aracılığıyla sağlanmaktadır. Ülkeler açısından enerji kaynaklarına olan talebin ucuz ve kesintisiz sağlanması önem arz etmektedir (Tuğrul, 2014).

Talebi karşılamak için yapılan yatırımların sürdürülebilir olması için, yatırımların enerji-ekonomik açıdan değerlendirilmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Enerji ekonomisi, enerji kaynaklarının varlığını ve bu kaynakların ekonomik faaliyetlerle ilişkisini ele alan bilim dalı olmaktadır.

Tüm dünya için bir dönüm noktası olan 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi ile enerji arzının güvenliği noktasında bir güvensizlik ortamı oluşmuş, bu durum farklı enerji kaynaklarına yönelimin ilk adımlarının atılmasını sağlamıştır. 1980’lerin ortalarında petrol fiyatları düşmüş ancak, petrol krizi sonucu gündeme gelen “enerji güvenliği” kavramı kalıcı olmuş ve “enerjinin çeşitlendirilmesi”, enerji politikalarının vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Enerji güvenliği ve kaynak çeşitliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının da enerji yelpazesinde yer almasına yol açmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, her ülke için öz kaynak durumunda olması, kaynak çeşitliliğine katkıda bulunması, iklim değişikliğine neden olmama gibi avantajlarından dolayı elektrik üretimindeki payı son yıllarda artış trendine girmiştir (IRENA, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edilen kaynaklardan birisi de rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisinin kullanımı yeni olmayıp, antik çağlara kadar uzanmaktadır. Rüzgar enerjisinin stratejik bir unsur haline gelmesi daha çok son 25 yıllık süreçte gerçekleşmiştir (IRENA, 2015).

Ülkemiz için rüzgar enerjisi, kaynak çeşitlendirme ve enerji talebini karşılamada dışa bağımlılığı azaltması açısından son derece önemlidir. Rüzgar enerjisi sektörü Türkiye’de son yıllarda ivme kazanmış olup bu alanda önemli yatırımlar yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Yapılan yatırımların dağılımına bakıldığında ağırlıklı olan rüzgar enerjisi santralleri ön plana çıkmaktadır. Fakat rüzgar enerjisi alanında asıl önemli olan, ülkemizin rüzgar enerjisinden faydalanmasının maksimizasyonudur. Rüzgar enerjisi sektöründe lider ülkelere bakıldığında sadece enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla yatırım yapılmadığını, eğitim, yerli teknoloji üretimi, istihdam yaratma, eğitim ve inovasyon alanında ilerlemenin de sağlandığı görülmektedir. Rüzgar enerjisine sadece elektrik üretim aracı olarak bakılmamalıdır. Rüzgar enerjisinden tüm yönleri ile fayda sağlayarak katma değer oluşturmak için bu alanda Türkiye’nin stratejik bir plan çerçevesinde hareket etmesinin önemi açıkça görülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, sermaye yoğun yatırımlar olup, enerji bağımlılığını azaltmak ve kaynak çeşitliliği sağlamak amacıyla desteklenmelidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı yatırımlar, farklı politikalar aracılığı ile teşvik edilmektedir. Ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi teşvik edilmekte olup, bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim portföyü içerisindeki payının artırılması hedeflenmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında; rüzgar santralleri ele alınarak enerji-ekonomik açıdan değerlendirilmesi, rüzgar santralleri için teşvik uygulamasının irdelenmesi ve APLUS Bilgisayar programı ile Türkiye’nin enerji politikaları içindeki yerinin değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümde enerji santrallerinin tanıtımı ve sınıflandırılması, yenilenebilir enerji santrallerinin Dünya ve Türkiye’deki yeri ve gelişimi incelenmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümde ise rüzgar enerjisi üzerine detaylı bir inceleme yapılmıştır. Rüzgar enerjisi santral tipleri, kullanım alanları, Dünya ve Türkiye’deki yeri ve gelişimi üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde rüzgar enerjisi yatırımının ekonomik

analizi üzerine detaylı bir inceleme yapılmıştır. Rüzgar enerjisi yatırım maliyeti, proje giderleri, işletme maliyeti, amortisman maliyeti incelenerek rüzgar enerjisi yatırımının finansal analizi anlatılmıştır. Çalışmanın beşinci bölümünde ise kullanılan APLUS bilgisayar programı tanıtılmış olup, giriş parametreleri ve çıkış verileri üzerine detaylı inceleme yapılmıştır.





2. ENERJİ SANTRALLARI

2.1 Enerji

“Enerji” tanımı zor bir kavramdır. Enerji, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme yeteneği anlamındadır. Doğrudan ölçülemeyen bir değer olup fiziksel bir sistemin durumunu değiştirmek için yapılması gereken iş yoluyla veya enerji türüne göre değişik hesaplamalar yoluyla bulunabilir. Özetle, “enerji” bir sisteme ilave edildiğinde veya sistemden çıkarıldığında sistemin en az bir özelliğini değiştiren olgudur (Tuğrul, 2014).

Ekonomik anlamda farklı proseslerle enerji elde edilen kaynaklar, enerji kaynakları olarak isimlendirilmekte ve değişik şekillerde sınıflandırılmaktadır. Kullanışlarına göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken; ayrıca, enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde de incelenebilmektedir. Günlük yaşamda her alanda kullanılan enerji değişik şekillerde bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Bu Yüksek Lisans tezinde yenilenebilir enerji içinde yer alan rüzgar enerjisi ile ilgilenileceğinden yenilenebilir enerji ele alınarak incelenmesi amaçlanmıştır.

2.2 Yenilenebilir Enerji Tanımı ve Sınıflandırılması

2.2.1 Yenilenebilir enerji kavramı

Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu tanımına göre yenilenebilir enerji, sürekli olarak yenilenen ve doğal süreçlerden elde edilen enerji çeşidi olmaktadır. Bu enerji çeşidi farklı şekillerde bulunabilmektedir. Doğrudan veya dolaylı bir şekilde güneşten veya yer kabuğunun derinliklerinden kaynaklanan ısıyla ilişkilendirilebilmektedir. Güneş, rüzgar, biyokütle, biyo yakıtlar, jeotermal, hidrolik güç, okyanus kaynakları ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen enerjisi tanım içerisinde yer alan diğer enerji kaynaklarıdır.

Teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve nüfus artışı sonucu oluşan enerji gereksinimi dünya genelinde hızla artmaktadır. Enerji ihtiyacının hızlı artışı sonucu oluşan enerji

açığı problemi özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha çok görülmektedir. Enerji, her türlü sanayi ve ulaşım sektörünün en önemli girdisidir. Teknolojinin gelişimi ve yaygınlaşması özellikle en kullanışlı enerji çeşidi olarak görülen elektrik enerjisine olan ilgiyi arttırmıştır.

Ülkemizdeki ve Dünya'daki elektrik enerjisi üretiminin büyük bölümü birincil enerji kaynakları olarak adlandırılan fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının büyük çevre sorunlarına yol açmaya başladığının farkına varılması, fosil yakıtların üretiminin talebi karşılayamaması ve fiyatlarındaki değişimler, tükenmeyen enerji kaynakları olarak tanımladığımız yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaları arttırmıştır.

Elektrik enerjisi üretiminin fosil yakıtlarla gerçekleştirilmesi çeşitli çevrimler aracılığıyla mümkün olmaktadır. Çevrimler sonucunda da enerji üretim sisteminin verimi azalmaktadır. Bunun aksine, yenilenebilir enerji sistemleri elektrik enerjisini doğrudan üreterek herhangi bir çevrime ihtiyaç duymazlar. Ancak, yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji üretimlerinde emreamadelik (süreklilik) problemi ortaya çıkmaktadır. Ülke genelinde değişen elektrik enerjisi ihtiyacı, elektrik santrali devreye sokularak veya devreden çıkarılarak dengelenebilmektedir. Türkiye'de şebekenin anlık yüklerini, artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için devreye çoğu kez termik santraller sokulmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji santrallerinin şebekeye enerji veren diğer santrallerle uyum içinde çalışması gerekmektedir.

2.2.2 Yenilenebilir enerji santralleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerin uzun yıllardır biliniyor olmasına bağlı olarak, yenilenebilir enerjiler, geleneksel ve yeni olarak ikiye ayrılabilir. Odun, bitki ve organik maddelerin geleneksel yollarla yakılmasını içeren biyokütle enerjisi ve büyük ölçekli hidrolik enerji geleneksel yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklardan uzun yıllardan beri yararlanılmaktadır. Güneş, rüzgar, modern biyokütle, jeotermal, dalga ve (elektrik üretimi amaçlı) jeotermal enerji ise yeni yenilenebilir enerji kaynakları olarak görülmektedir.

Güneş Enerjisi

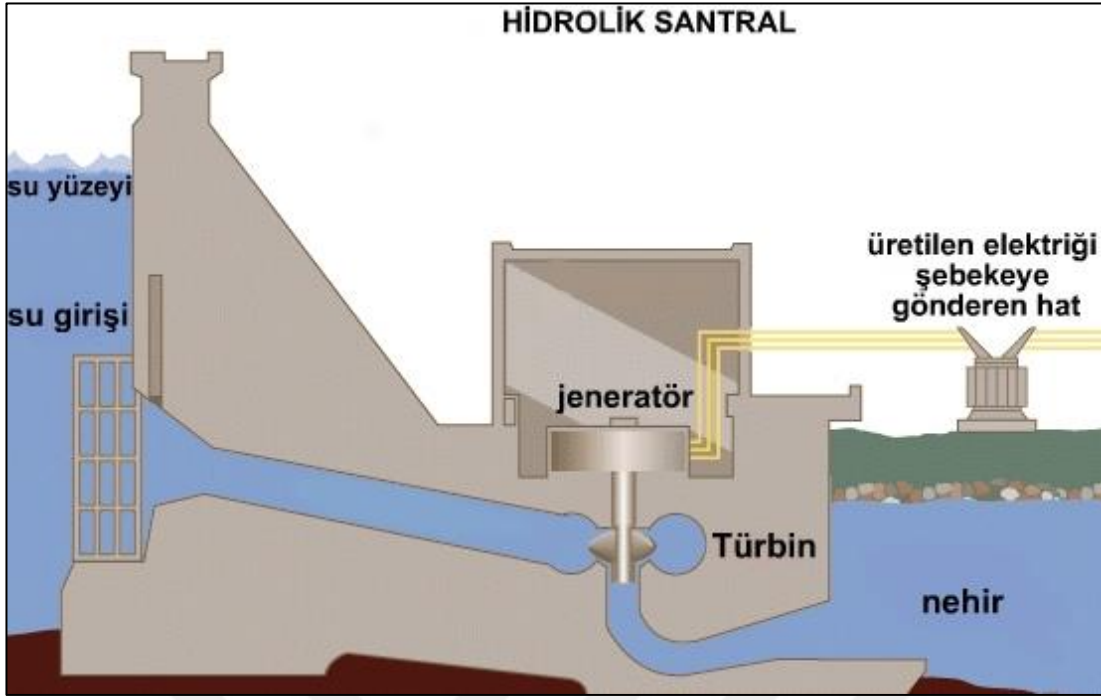
Güneş enerjisi, atmosferik dönüşümler, ekosistem ve fotosentez için temel enerji kaynağıdır. Güneş, dünya üzerinde yaşayan tüm canlılar için birincil derecede önem arz etmektedir. Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti yaklaşık olarak sabit değer olup 1370 W/m^2 değerindedir. Ancak yeryüzüne gelen güneş enerjisi, bölgesel olarak değişmekte olup $0 - 1100 \text{ W/m}^2$ değerlerine sahiptir. Günümüzde yaygın olarak güneş enerjisinden faydalanmada iki farklı uygulama ön plana çıkmaktadır. Birincisi güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek faydalanma, ikincisi ise güneş enerjisinden elektrik üretimidir (Varınca & Varank, 2006).

Yeryüzüne gelen güneş enerjisini ısı enerjisine çevirme yönteminde “ısı toplayıcılar” kullanılırken, direkt elektrik enerjisine çevirme uygulamasında ise “güneş pilleri” kullanılmaktadır. Günümüzde güneş enerjisinden elektrik üretimi alanında önemli arge yatırımları yapılmakta olup, gelecekte enerji talebinin önemli bir kısmının güneş enerjisinden sağlanması beklenmektedir (Tunç, 2009).

Hidrolik enerji

Hidrolik enerji, doğada bulunan suyun sahip olduğu enerjilerin dönüşümünden elde edilmektedir. Bir başka deyişle, öncelikle akarsu yataklarında birikerek akan su, belli bir kinetik ve potansiyel enerjiye sahiptir. Daha sonrasında, bu kinetik ve potansiyel enerji, uygun yataklarda suyun toplanması ile tümüyle potansiyel enerjiye çevrilir. Burada hazır olarak bekleyen enerji, ihtiyaç anında belirli bir düşü ve debi sağlanarak, su türbinlerinde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Kullanılmakta olan en eski enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerjinin kaynağı sudur. Bu nedenle hidroelektrik santraller bir su kaynağı üzerinde olmak zorundadır. Elektriği uzun mesafelere ileten teknoloji bulunduktan sonra, hidrolik enerji daha da çok kullanılır olmuştur. Hidroelektrik santraller akan suyun gücünü elektriğe dönüştürmektedirler. Akan su içindeki enerji miktarını, suyun akış ya da düşüş hızı belirlemektedir. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Su yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilebilmektedir. Her iki yolla da kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akmakta, elektrik üretimi için pervane biçiminde kolları olan türbinlerin dönmesini sağlamaktadır. Türbinler jeneratörlere bağlı olup, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedirler (Url-1).



Şekil 2.1 : Hidroelektrik Santrali Çalışma Prensibi Şeması.

Hidroelektrik santraller önemli ve enerji üretiminde en büyük paya sahip yenilenebilir enerji kaynakları durumundadırlar. Yağmur ve karla yükseklerle taşınan suların potansiyel enerjisi türbin ve jeneratörler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Hidrolik enerji, her yıl yağışlar tekrarlandığı için yenilenebilir olarak nitelenen enerji kaynağı grubunda yer almaktadır. Şekil 2.1’de hidroelektrik santrali çalışma prensibi şeması görülmektedir (Url-2).

Jeotermal enerji

Sözlük anlamı “yer ısısı” olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş, basınç altında bulunan sıcak su, buhar, gaz veya kızgın kuru kayaçların içerdiği termal enerji olarak tanımlanmaktadır. Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli oldukları için yeraltındaki rezervuar kayaları sürekli beslenmekte, beslenmenin üzerinde bir kullanım olmadığı sürece bu kaynakların tükenmesi söz konusu olmamaktadır.

Jeotermal kaynağın verimi yüksektir ve doğrudan elde edilebildiği için maliyeti düşük, yenilenebilir, kesintisiz, çevreyle dost, yerli bir güç kaynağı durumundadır. Jeotermal enerji sondajlarla yeryüzüne sıcak su, buhar ve sıcak su veya kuru buhar şeklinde çıkabilmektedir. Bir bölgede aşırı ısınmış kaya söz konusu ise bu kuşağa

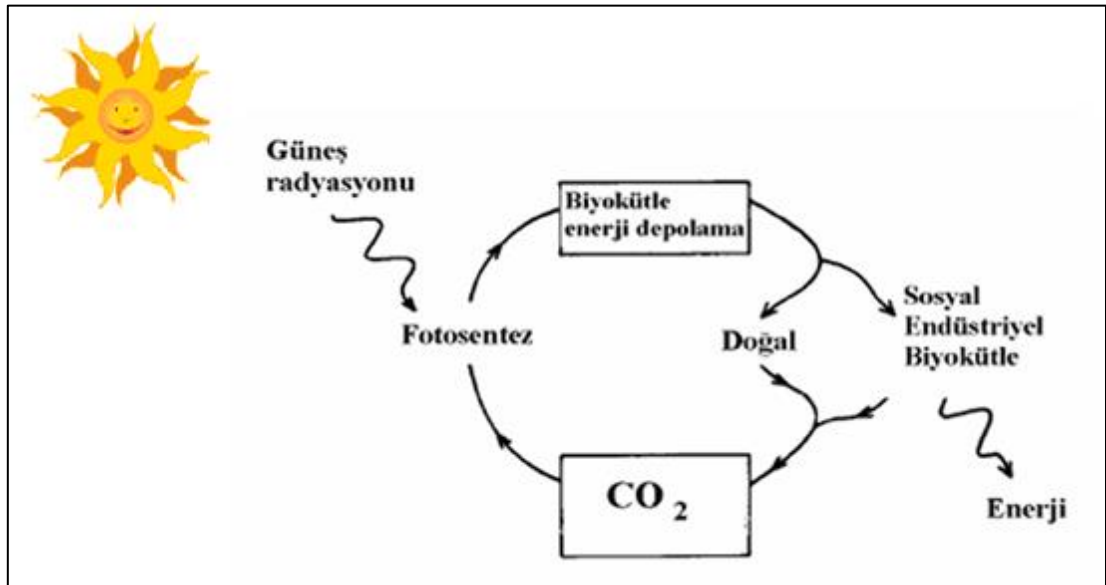
sondajlar yapılarak enjekte edilecek soğuk sudan da aşırı sıcak su veya buhar elde edilebilir.

Jeotermal enerji, başta elektrik enerjisi üretiminde, ısıtmada (sera-şehir-konut vb.), soğutmada, endüstride (süt, ilaç deri, kimyasal madde eldesi vb.) ve sağlık turizmi kapsamında olan kaplıca turizminde kullanımıyla pek çok kullanım sahası olan yeşil bir enerji türüdür. Elde edilen bu kuru buhar veya sıcak su-buhar karışımından elektrik üretimi, tarım, mekan ısıtmacılığı, sportif tesisler, türlü endüstri kolları yararlanmaktadır.

Biyokütle enerjisi

Odun, odun kömürü, hayvan ve insan dışkı; tarım ürünleri ve orman sektörü organik atıkları, alkol ve metan mayalanması; çeşitli su bitkileri gibi canlı (biyolojik) kaynaklar yolu ile elde edilen enerji türüne biyokütle (biomass) enerjisi denilmektedir (Koçar ve diğ, 2013).

Biyokütle 100 yıllık periyottan daha kısa bir sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlanmıştır. Biyokütle enerjisinin temeli bitkilerin fotosentez olayına dayandığı için, biyokütle enerjisi, güneş enerjisinin kimyasal enerji halinde depolandığı organik maddelerin enerjisi olarak da ifade edilebilmektedir. Şekil 2.2.'de doğal biyokütle çevrimi görülmektedir (Url-4).



Şekil 2.2 : Doğal Biyokütle Çevrimi.

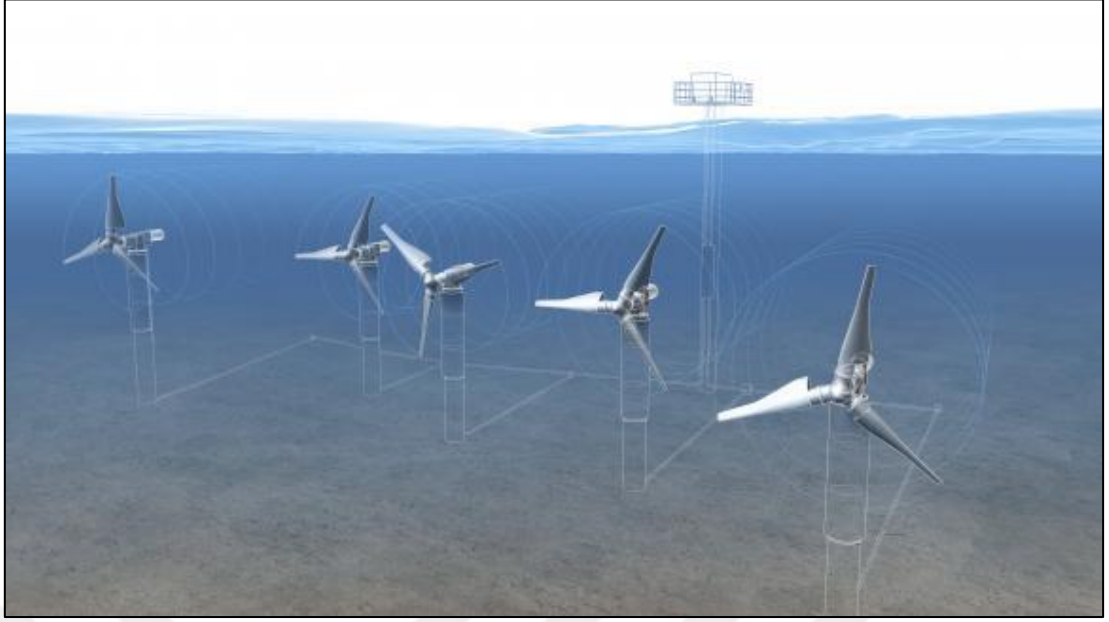
Biyokütle kaynaklı, çevre dostu en önemli yakıt alternatiflerinden bazıları biyodizel ya da biyomotorin olarak nitelenen yakıtlardır. Biyomotorin, ticari başarısını kanıtlamış en popüler dizel motor yakıtı alternatifidir. Dizel motorlarında sorunsuz olarak rahatlıkla kullanılabilir. Biyomotorin kullanımının başlangıcı, Dr. Rudolf Diesel'in 1895'de ürettiği ilk dizel motorda bitkisel yağ kullanmasına dayanmaktadır. Günümüzde birçok ülke biyomotorin normunu tamamlamış olup, biyomotorin akaryakıt istasyonlarında ticari bir yakıt olarak satışa sunulmuştur (Oruç, 2008).

Biyokütlenin elektrik enerjisi üretiminde kullanılması termik santrallere benzer bir sistemle organik maddelerin doğrudan yakılarak oluşturulan ısıdan buhar elde edilerek türbinleri döndürmesi ve jeneratörlerden elektrik üretilmesi şeklinde olabilmektedir.

Dalga enerjisi

Dalgalar, Dünya üzerindeki toprak ve suların farklı ısınması sonucu oluşan rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelmektedir. Deniz dalgalarındaki güç; dalga yüksekliği, dalga hareketi, dalga boyu ve su yoğunluğu ile belirlenmektedir. Dalga yüksekliği ise, rüzgar hızı, rüzgarın esme zamanı, esen rüzgarın suya olan mesafesi ve su derinliğine bağlı olmaktadır. Genellikle, büyük dalgalardan daha çok enerji elde edilmektedir.

Deniz dalgalarından enerji elde edilmesi konusunda ilk çalışmayı 1892 yılında A. W. Stahl yapmıştır. Günümüzde dünyanın değişik merkezlerinde bu konuda araştırmalar yapıp prototipler geliştirilmektedir (Url-5).



Şekil 2.3 : Dalga Enerjisi Çalışma Prensibi.

Şekil 2.3'te dalga enerjisi çalışma prensibi görülmektedir (Url-6). Dalgalardan enerji elde eden tüm sistemler deniz yüzeyinde ya da deniz yüzeyine yakın kurulmaktadır. Bu sistemler dalganın geliş yönüne dik ya da paralel kurulmalarına ve enerjiyi dönüştürme biçimlerine göre farklılaşabilmektedir (Url-7).

Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi, eski çağlardan itibaren kullanılan bir enerji kaynağıdır. Geçmişte ağırlıklı olarak yel değirmenleri aracılığıyla buğday öğütümü ve su pompalamak için kullanılan rüzgar enerjisi, günümüzde yaygın bir şekilde elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi, en genel tanımıyla hava kütlelerinin hareketi olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar enerjisi, yüksekliği ve yoğunluğu farklı olan hava moleküllerinin yer değiştirmesi sonucu oluşmaktadır. Rüzgar enerjisi, çalışmanın 3. bölümünde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

2.2.3 Yenilenebilir enerji santrallerinin dünyadaki yeri ve gelişimi

Dünya üzerinde her daim en önemli talep enerjiye olmuştur. Yüzyıllardır değişmeyen bu gerçek, sanayi devrimi ve makinelerin hayatımıza girmesiyle bambaşka bir hal almış, enerji yakın geçmişte ve özellikle bugün itibarıyla dünyanın bir numaralı gündem maddesi haline gelmiştir.

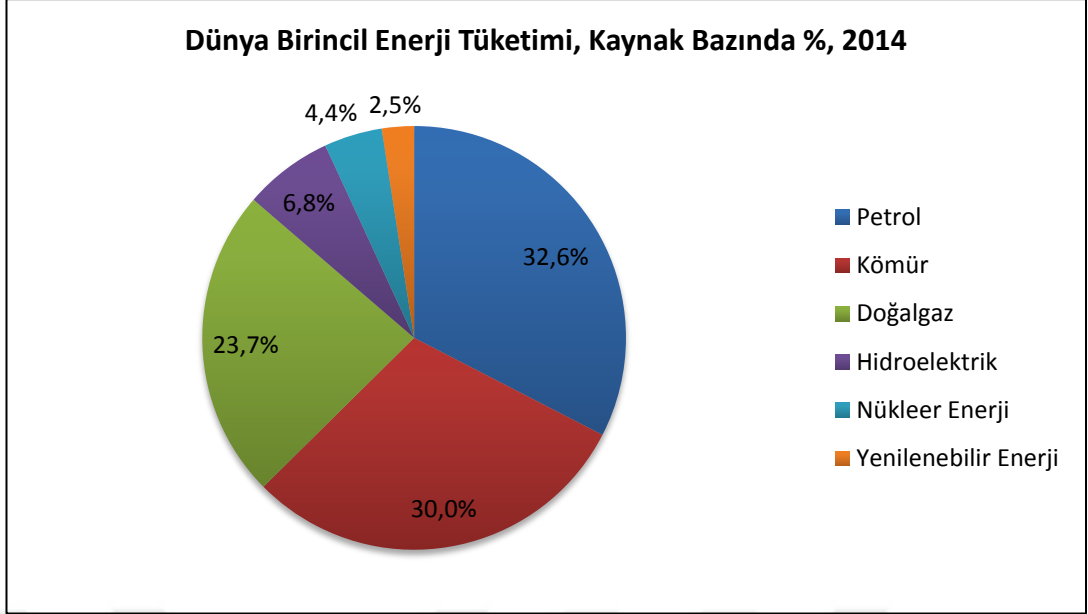
20. yüzyıldan itibaren enerjinin önde gelen ham maddesi kömür ve petrol iken 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren doğal gazda oldukça değerlenmiş ve piyasada

önemli yer edinmiştir. Gelişmiş ülkelerde nükleer enerji kullanımı da yaygınlaşmıştır. Ancak, petrol ve doğal gaz hep daha önde yer almıştır. Sanayi devrimiyle öncelikle kullanılan kömür ve linyit gibi fosil yakıtlar da önemini korumaya halen devam etmektedir. 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren araştırmalar yenilenebilir enerji üzerinde yoğunlaşmaya başlamıştır.

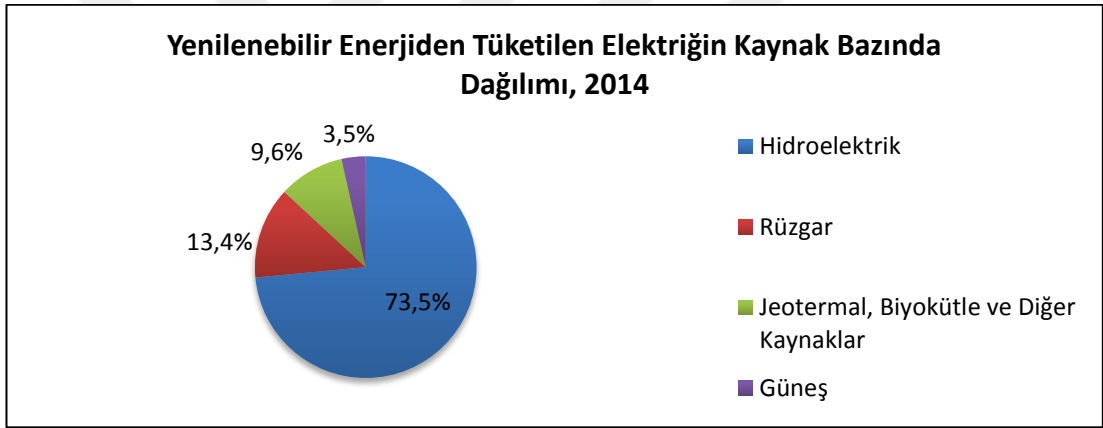
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çok eski çağlara dayanmaktadır. Örneğin su pompalanması, yiyeceklerin öğütülmesi, kurutulması, suyun ısıtılması ve yelkenli gemilerde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Ancak, buharlı makinelerin keşfi ve sanayi devrimi ile Avrupa ve Amerika'da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımda azalma söz konusu olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi, 90'lı yıllarda çevre bilincinin ortaya çıkması ile ivme kazanmıştır. Bu bilinç, geleneksel enerji üretimi ve tüketiminin çevre ve doğal kaynaklar üzerinde yerel, bölgesel ve küresel seviyede doğrudan olumsuz etkilere neden olduğunun anlaşılmasına ve atmosfere kirlilik yaratıcı emisyon vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının "temiz enerjiler" olarak destek görmesine yol açmıştır (DEKTMK, 2010).

2014 yılı dünyadaki toplam birincil enerji tüketimi 12.928 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (MTEP) olmuştur. Bunun % 6,8'i hidroelektrik, % 2,5'u diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından (rüzgar, güneş, biokütle, jeotermal) sağlanmıştır. Toplam birincil enerji kaynağı arzı içinde diğer kaynakların payları ise; petrol % 32,6, kömür % 30, doğal gaz % 23,7 ve nükleer enerji % 4,4 olmuştur. Şekil 2.4'de 2014 yılı global birincil enerji tüketiminin kaynak bazında dağılımı gösterilmektedir (BP, 2015).



Şekil 2.4 : Dünya Birincil Enerji Tüketimi Kaynak Bazında.



Şekil 2.5 : Yenilenebilir Enerjiden Tüketilen Elektriğin Kaynak Bazında Dağılımı.

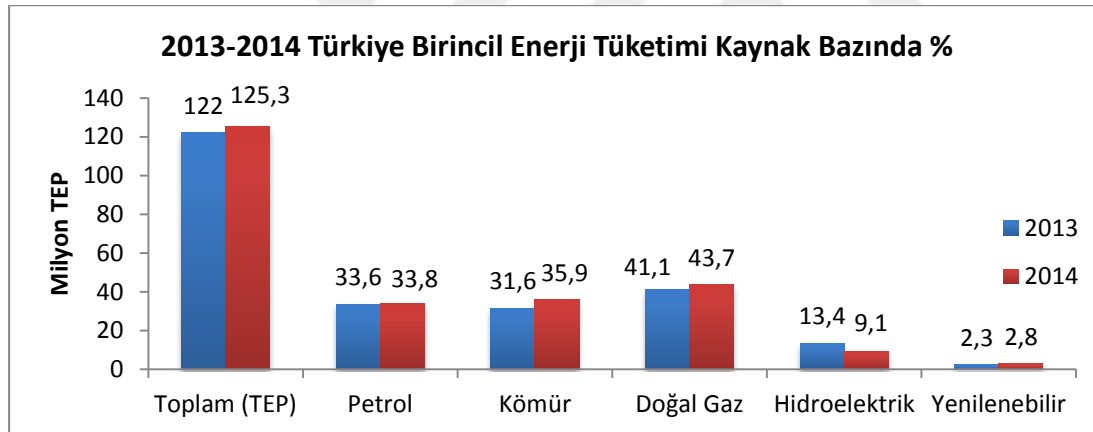
Dünya elektrik tüketiminde yenilenebilir kaynakların payı % 26 oranındadır. Bu kaynaklardan üretilen elektrikte en büyük payı % 19,1 ile hidrolik kaynaklar almakta olup, bunu rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle ve diğer yenilenebilir kaynaklar izlemektedir. Şekil 2.5’de 2014 yılı yenilenebilir enerjiden tüketilen elektriğin kaynak bazında dağılımı gösterilmektedir (BP, 2015).

2014 yılı itibariyle büyük hidrolik güç dışında, yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesindeki en büyük pay rüzgar enerjisine ait bulunmaktadır. Rüzgar enerjisini sırasıyla güneş, biyokütle ve jeotermal izlemektedir.

2.2.4 Yenilenebilir enerjinin Türkiye'deki yeri ve gelişimi

Dünyada enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artarak devam etmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde nüfus artışı, sanayileşme, insanların refah seviyesinin yükselmesi ve teknolojik gelişmelere paralel olarak önümüzdeki yıllarda enerji talebi daha da yoğun olacaktır denebilir.

Fosil enerji kaynaklarının dünyada ciddi çevre sorunlarına yol açması, kaynak ülkelere bağımlılığın çeşitli siyasi ve ekonomik sorunlara yol açması ve fiyat istikrarsızlıkları gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Özellikle gelişmiş ülkelerde yenilenebilir enerji kaynakları olan hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş, biyokütle, dalga, hidrojen vb. enerji kaynaklarından başta elektrik üretimi olmak üzere çeşitli yollarla yararlanılmaktadır. Tüm bu gelişmelere rağmen fosil enerji kaynaklarının dünya birincil enerji kaynakları tüketimindeki üstünlüğü tartışmasız bir şekilde devam etmektedir ve kısa vadede de bu üstünlüğünü korumaya devam edeceği düşünülmektedir.



Şekil 2.6 : 2013-2014 Türkiye Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.

Gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye'nin de artan nüfus ve büyüyen ekonomisine paralel olarak enerji kaynakları tüketimi yükselerek devam etmektedir. Mevcut enerji yapısı % 72 oranında dışa bağımlı olan Türkiye, bu oranı azaltabilmek için bir yandan sınırları içinde fosil enerji kaynakları hammaddesi arama çalışmaları yürütürken, diğer yandan da yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi ve kullanımı konusunda çalışmalar yapmaktadır. Bu şekilde ithal enerji kaynaklarına olan bağımlılık azalırken, enerji kaynakları da çeşitlendirilecektir.

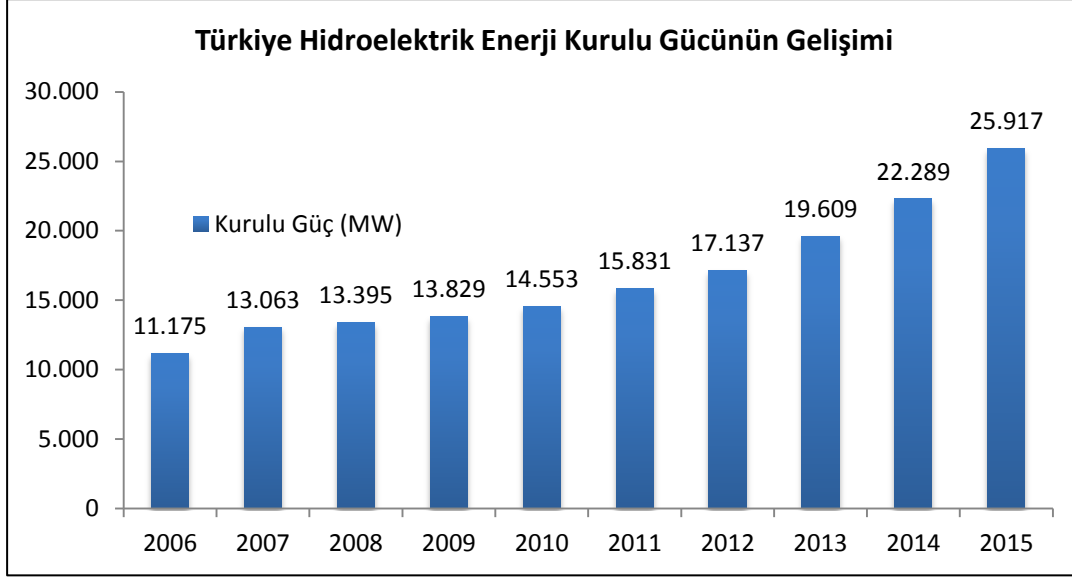
2014 yılı itibariyle Türkiye'nin birincil enerji tüketimi 125,3 Milyon TEP' olup dünya tüketiminin yaklaşık % 1'ini oluşturmaktadır. Birincil enerji tüketiminin %7,3'ünü hidroelektrik enerji oluştururken, % 2,2'sini diğer yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Türkiye Birincil Enerji Tüketim miktarları Şekil 2.6'da verilmektedir (BP, 2015).

Türkiye başta hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş olmak üzere yenilenebilir kaynakları potansiyeli açısından zengindir denebilir. Yapılan rüzgar ölçümleri sonucunda, Türkiye'nin özellikle Marmara, Ege ve Doğu Akdeniz kıyı bölgesinin zengin rüzgar potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. EİE ve DMİ tarafından yapılan çalışmalara göre; Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7.5 m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgar santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir (Url-9).

Türkiye'de şebekeye bağlı rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi 1998 yılında başlamış ve özellikle 2005 yılından itibaren özellikle 5346 sayılı Yenilenebilir Elektrik Kanununun çıkmasından sonra kurulu güç kapasitesinde her yıl önemli oranda artış göstererek tamamen işletmede olan 113 rüzgar santrali ile Ocak 2016 itibariyle 4.718 MW'a ulaşmıştır (TÜREB, 2016).

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği'nin açıkladığı verilere göre Temmuz 2015 itibariyle inşa halinde olan 61 rüzgar enerjisi santralinin toplam kurulu gücü ise yaklaşık 2000 MW'dır.

Türkiye'de teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 216 milyar kWh olarak hesaplanmıştır (Url-2). Hidroelektrik enerjisi kurulu gücü özellikle 2010 yılından bu yana, enerji karmasında yenilenebilir enerjinin payının artırılması amacıyla Türkiye tarafından takip edilen stratejilerin katkısıyla hızlı bir artış göstermiştir. Şekil 2.7'de Türkiye hidroelektrik enerji kurulu gücünün gelişimi gösterilmektedir (IRENA, 2015). 2015 sonu itibariyle 25.197 MW olup, toplam kurulu gücün % 35'ini oluşturmaktadır.

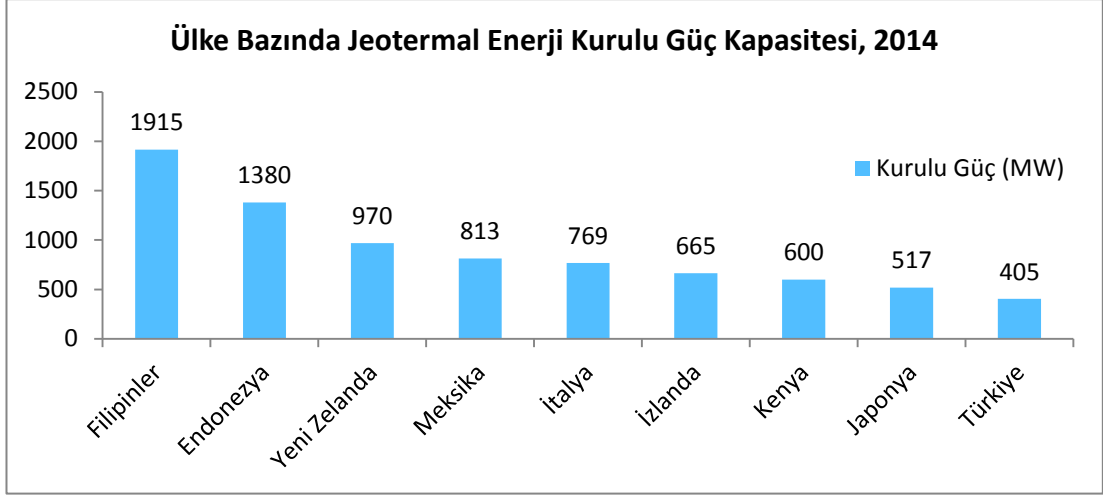


Şekil 2.7 : Türkiye Hidroelektrik Enerji Kurulu Gücünün Gelişimi.

Bugün için 126,1 milyar kWh olan ekonomik hidroelektrik potansiyelimizin % 35'i (44.388 GWh) işletmede, % 9'u (10.845 GWh) inşa halinde ve %56'sı (70.876 GWh) ise çeşitli aşamalardan oluşan proje (ilk etüt, ön inceleme, master plan, planlama ve kesin proje) düzeyindedir (Url-10).

Türkiye jeotermal zenginliği açısından dünyanın yedinci ülkesi durumundadır. Halen, jeotermal potansiyelimizin sadece % 2'si değerlendirilmektedir. Türkiye'de jeotermal enerji araştırma çalışmaları 1962 yılından beri MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmekte olup, bugüne kadar sıcaklıkları 35-40 °C'nin üzerinde olan 170 jeotermal sahanın varlığı ortaya konmuştur. Bu sahaların büyük bir bölümü Batı Anadolu'da bulunup yüksek sıcaklıklara sahiptir.

Türkiye'nin teorik jeotermal enerji potansiyeli 31500 MWt olarak kabul edilmektedir (Url-11). Ülkemiz bu potansiyeli ile dünyada 7. Avrupa da ise 1. konumdadır. Türkiye'nin bugün jeotermal enerjiyi doğrudan kullanım kapasitesi 1229 MWt'dir. Doğrudan kullanım açısından ise, dünyada 5. durumdadır (IRENA, 2015). Şekil 2.8'de ülke bazında jeotermal enerji kurulu güç kapasitesi gösterilmektedir (IRENA, 2015).



Şekil 2.8 : Ülke Bazında Jeotermal Enerji Kurulu Güç Kapasitesi.

Türkiye güneş enerjisi uygulamaları açısından da oldukça uygun bir coğrafi konuma sahip bulunmaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan, 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (Url-12).

Türkiye’de en yaygın güneş enerjisi uygulamaları sıcak su kolektörleridir. 2002 yılı için yaklaşık 9.1 milyon m² kolektör alanı mevcut olduğu belirtilmektedir (Url-12).

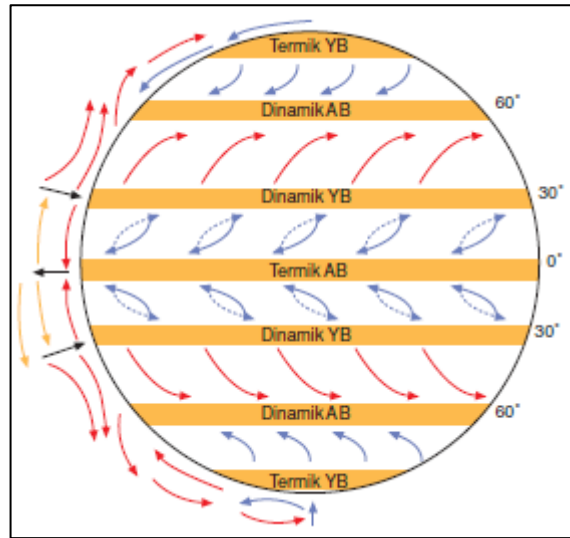
Enerji Piyasası Denetleme Kurumu (EPDK), yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payının artırılmasına yönelik yasal çalışmaları düzenlemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki payının artırılması ve kaynak çeşitlendirmesine gidilmesi amacıyla çeşitli düzenlemeler yapılmaktadır. 6094 sayılı Kanun kapsamında, yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretimde tesis tipine göre; hidroelektrik üretim tesisi ile rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi için 7,3 Dolar cent/kWh, jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi için 10,5 Dolar cent/kWh, biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil) ile güneş enerjisine dayalı üretim tesisi için 13,3 Dolar cent/kWh fiyat desteği sağlanmıştır. Ayrıca Kanun kapsamında, yurt içinde gerçekleşen imalat için de teşvik mekanizması getirilmiştir. Bununla birlikte EPDK, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapan tesislerde yurt içinde üretilmiş ekipman kullanıldığı takdirde 0,4 ile 3,5 Dolar cent arasında ilave fiyat desteği vermektedir (Url-13).



3. RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLARININ TANITIMI

3.1 Rüzgar Enerjisi ve Kullanım Alanları

Rüzgar enerjisi, yenilenebilir nitelikli doğal enerji kaynağıdır. Rüzgarlar, yeryüzündeki farklı güneş ısı dağılımının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklarının dengelenmesiyle oluşan hava akımlarıdır. Güneş, dünyanın gündüz sürecinde olan tarafındaki havayı, toprağı ve suyu ısıtırken, dünyanın gece sürecinde olan diğer tarafı soğumaktadır. Günlük soğuma ve ısınma değişimleri gün boyunca dünyanın çevresinde devam etmektedir. Ayrıca, ekvator bölgesi kutuplara göre daha fazla güneş enerjisi almaktadır. Ekvatorda ısınan hava yükselerek kutuplara doğru yönelmekte, soğuyan hava ise ağırlaşarak geri dönmektedir. Hava 30 kuzey enleminde yığılma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak bu bölgede basınç yüksek ve iklim ılımandır (Barutçu, 2014). Şekil 3.1’de basit rüzgar çevrimi gösterilmektedir (Url-14).



Şekil 3.1 : Basit Rüzgar Çevrimi.

İnsanoğlu yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisini yüzyıllardır kullanmaktadır. Birçok farklı coğrafyada rüzgar enerjisi, yel değirmenleri vasıtasıyla un üretilmekte ve su kuyularında su çekmekte kullanılmıştır. Bu bağlamda, insanoğlunun, rüzgarın gücünü keşfedip onun gücünden yararlanmaya başlaması çok antik çağlara dayanmaktadır (Url-15).

Rüzgar gücünden ilk yararlanma şekli olarak, yelkenli gemilerin hareket ettirilmesi ve yel değirmenlerinin çalıştırılması gösterilebilir. Rüzgarın bu alanlarda kullanımı küçümsenmeyecek kadar önemli olmuştur. Ülkeler rüzgarı kullanma becerisi sayesinde donanmalarıyla iktidar sahibi olmuş, coğrafi keşifler rüzgar enerjisinden güç alan gemilerle gerçekleştirilmiştir.

Mısırlılar metrelerce uzunluktaki yelkenleri şişirip tonlarca ağırlıktaki gemileri yüzdürmek için rüzgarın gücünden yararlanmışlardır. Buharlı gemilerin icadına kadar yelkenliler, kıtalararası ulaşım ve ticarete büyük rol oynamıştır. Kıtalar arası ulaşımın gelişmesinde en önemli katkıyı Fenikeliler yapmıştır. Bu yüzden İngilizler, Batı rüzgarlarına Ticaret rüzgarları (Tradewinds) adını vermişlerdir (İlkılıç, 2003).

Yel değirmenleriyle rüzgar enerjisinden faydalanma bilinen en eski yöntemlerden biridir. Kesin olarak kanıtlamak mümkün olmamakla birlikte bilinen en eski yel değirmenleri Babil imparatorluğunda kullanılmış olup, tahmini icatları M.Ö. 17. Yüzyıla dayanmaktadır. Resmi tarihi kayıtlardaki en eski yel değirmeni ise M.S. 644 yılında İran-Afganistan sınırında yer alan Seistan'da inşa edilmiş olup Şekil 3.2'de gösterilmektedir (Url-16).

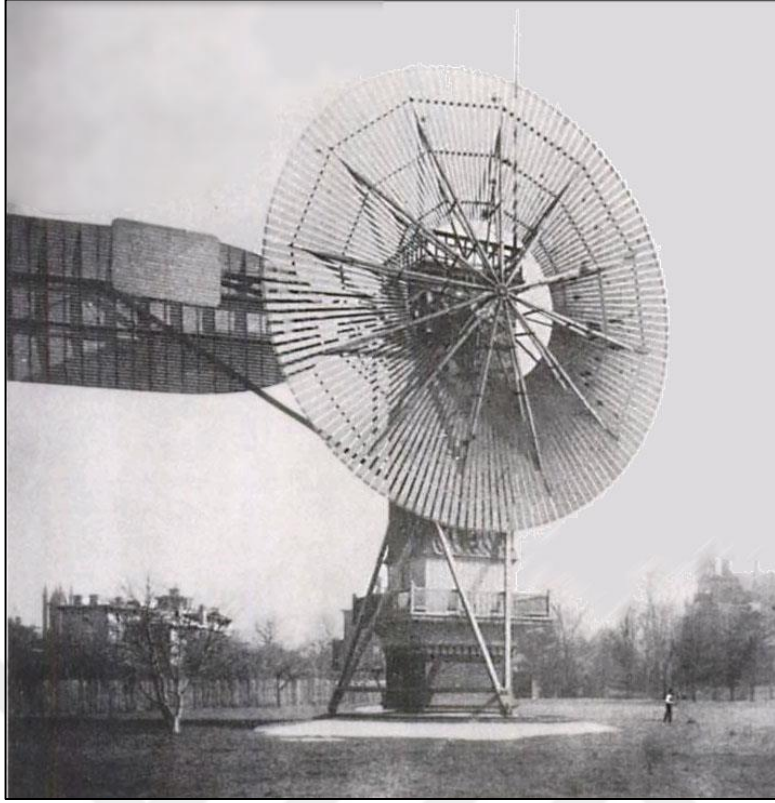


Şekil 3.2 : İran-Afganistan Sınırında Yer Alan Yel Değirmeni.

Günümüzde yaygın bir şekilde modern rüzgar türbinleri ile rüzgar enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek insanoğlunun kullanımına sunulmaktadır. Rüzgar enerjisi sistemlerinin temel yakıtı, ya da girdisi rüzgardır. Rüzgar akımı, içerisinde kinetik ve potansiyel enerji barındırmaktadır. Rüzgarın kinetik enerjisini mekanik veya elektrik enerjisine çevirip kullanıma sunan sistemler de rüzgar enerjisi sistemleridir (Freris, 1990).

3.2 Rüzgar Enerjisi Santral Tipleri

İlk rüzgar türbini, Amerikalı Charles F. Brush tarafından 1888 yılında inşa edilmiştir. Şekil 3.3'de Charles F.Brush tarafından inşa edilen rüzgar türbini gösterilmektedir (Url-15). Bu ilk rüzgar türbini 17m rotor çapıyla 12 kW kapasiteye sahipti. 1891 yılında Danimarkalı Poul La Cour 23 m rotor çapıyla 25 kW kapasiteye sahip rüzgar türbini yaparak rüzgar türbinlerinin bugünkü halini almasında büyük katkılar sağlamış bir bilim adamıdır. Şekil 3.4'de ise Poul La Cour tarafından inşa edilen 25 kW'lık rüzgar türbini gösterilmektedir (Url-17).



Şekil 3.3 : Amerikalı Charles F. Brush Tarafından İnşa Edilen İlk Rüzgar Türbini.

Rüzgar enerjisi, sanayi devrimi ve buhar makinelerinin icadıyla bir müddet geri planda kaldıktan sonra 1920'de Fransız bir mucit dikey eksenli rotor tasarımı yapmayı başarmıştır. 1930'larda binlerce 1 ila 3 kW kapasiteli küçük rüzgar türbinleri, çiftliklerin aydınlatılması ve radyo setlerinin şarj edilmesi amacıyla Amerika kırsallarına inşa edilmiştir. 1939'da Amerika'nın Vermont şehrinde inşa edilen 53 m çapında, 1,25 MW gücündeki Smith Putnam rüzgar türbini uzun süre faaliyette kalmıştır (Ackermann ve Söder, 2002).

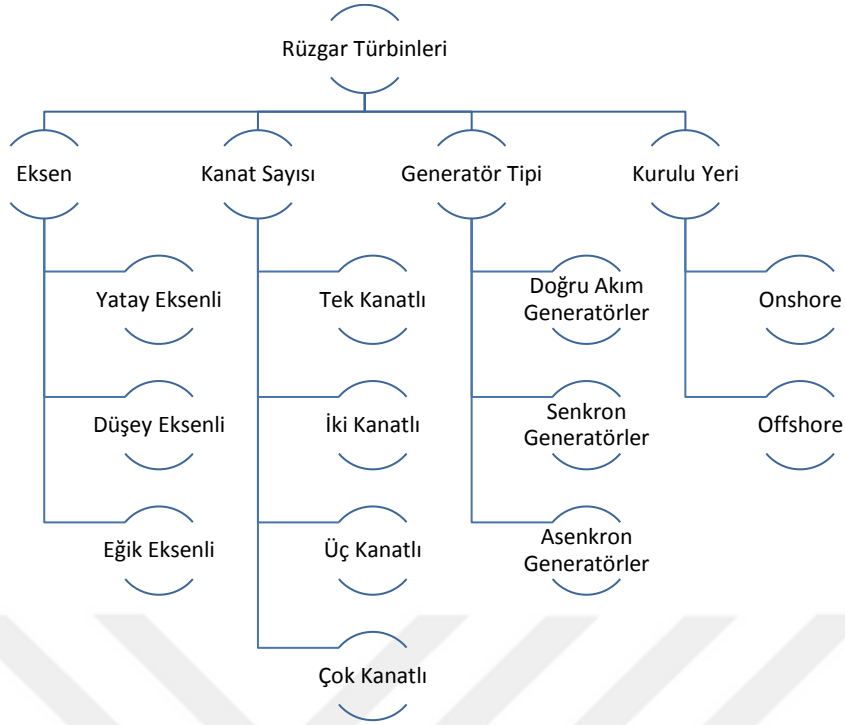


Şekil 3.4 : Poul La Cour'ın 25 kW'lık Rüzgar Türbini.

1960 yılına gelindiğinde ilk plastik ve fiberglas millere sahip verimliliği artmış bir rüzgar türbini Alman yatırımcı Ulrich Huttter tarafından geliştirilmiştir. 1971 yılında ise, dünyanın ilk deniz tipi rüzgar çiftliği Danimarka'da 5 MW kapasite ile devreye alınmıştır.

1970'lerde etkisini hissettiren petrol krizinin patlak vermesiyle fosil yakıtlara alternatif enerji kaynakları arayışları hız kazanmış ve bu noktada gelişmeye en müsait enerji türü rüzgar enerjisi olmuştur. Bu yıllarda Amerika, Almanya, İsveç, Büyük Britanya, Kanada gibi ülkeler rüzgar enerjisi teknolojisinin gelişiminin ve maliyet düşüşlerinin tetikleyicisi olan destek programları devreye sokmuşlardır. 1980-1991 periyodunda Kaliforniya eyaletinde kapasitesi 20 ile 350 kWh arasında değişen 17.000 adet yeni rüzgar türbini faaliyete geçirilmiştir. Kısacası 1980'li yıllarda rüzgar enerjisi yeni materyallerle inşa edilmiş ve daha düşük maliyetli türbinler sayesinde elektrik üretimi için gerçek bir seçenek olarak kendini göstermeye başlamıştır. 1980 yılında şebekeye bağlı ilk rüzgar çiftliği 20 adet rüzgar türbini ile Kaliforniya New Hampshire'de kurulmuştur (Url-15).

Rüzgar santralleri, kullanılan rüzgar türbinlerine göre adlandırılmaktadır. Rüzgar türbinleri dönme eksenlerine, kanat sayılarına, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılabilirler (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Rüzgar Türbinleri Sınıflandırması.

3.2.1 Dönme eksenlerine göre rüzgar türbinleri

Rüzgar türbinleri dönme eksenine göre üç gruba ayrılabilirler. Bunlar;

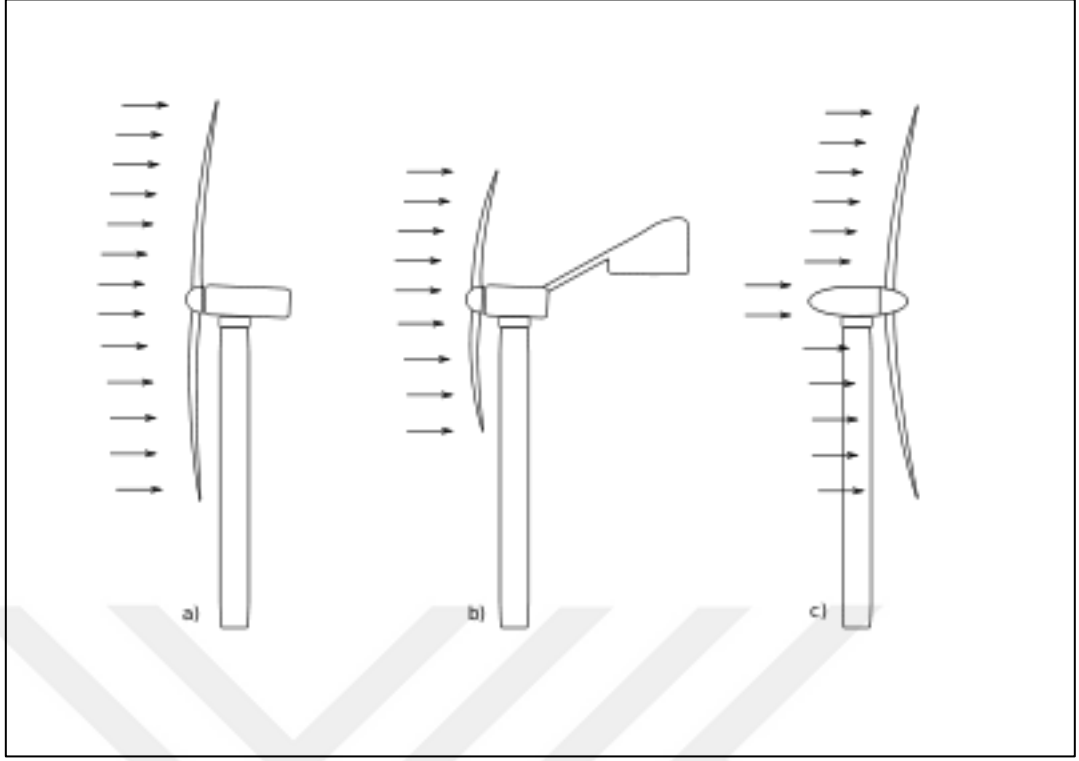
- Yatay eksenli rüzgar türbinleri,
- Dikey eksenli rüzgar türbinleri,
- Eğik eksenli rüzgar türbinleri

Olarak ifade edilebilir.

Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Bu tip rüzgar türbinleri, dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel, kanatları ise rüzgarın esme yönüne dik olarak çalışmaktadırlar. Kanatların rüzgarın esme yönüne dik olması ile türbin rotoru maksimum enerjiyi tutabilmektedir. Kanatlardaki kaldırma kuvveti rotorun dönmesini sağlamaktadır (Kaya ve Koç, 2015).

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin, rüzgarı önden ve arkadan alan tasarımlar olmak üzere iki tipi mevcuttur. Şekil 3.6'da rüzgarı önden ve arkadan alan rüzgar türbinleri gösterilmektedir (Url-15). Yatay eksenli türbinlerin kule üzerinde yatay eksen yönündeki hareketi; rüzgara yönelik birimlerde, kılavuz bir kuyruk ve rüzgarı arkadan gören birimlerde ise, oluşturulan konik açı ile sağlanmaktadır (Durak ve Özer, 2008).



Şekil 3.6 : Rüzgarı Önden ve Arkadan Alan Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri.

Modern rüzgar santrallerinde, rüzgarı önden alan tasarımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Rüzgarı arkadan alan tasarımların fazla yaygın kullanımı bulunmamaktadır.

Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Düşey eksenli rüzgar türbinleri, yatay eksenli rüzgar türbinlerinde olduğu gibi bir pervane görünümüne sahip değildirler. Bu tip rüzgar türbinlerinde mil düşey yapıya sahiptir. Düşey eksenli rüzgar türbinleri, ticari kullanımdan ziyade deneyler için üretilmektedirler. Yere yerleştirilebildikleri için kule ihtiyacı ve maliyeti ortadan kalkmakta, sistem istenilen rüzgar yönüne çevrilebildiği için dümen sistemine gerek bulunmamaktadır. Çalışma basitliğinden dolayı kullanılan en eski rüzgar türbini çeşididir denebilir. Düşey eksenli rüzgar türbinleri, yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre daha düşük verime sahip bulunmamaktadır (Öztürk, 2008).

Düşey eksenli rüzgar türbinleri, kendi içinde çeşitleri mevcuttur. Bunlar, aşağıda kısaca tanıtılmaktadırlar.

Darrieus tipi: 1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980'lerde Amerika ve Kanada da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde

kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma inmektedir. Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ilk hareket motoruna gereksinimleri bulunmaktadır (Öztürk, 2008).

Darrieus tipi düşey eksenli rüzgar türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki veya üç kanat yer almaktadır. Kanatlar, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan bir elips oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşmaktadır. Yapısı gereği Darrieus tipi rüzgar türbinlerinde, devir başına iki kere en yüksek tork elde edilmektedir. Rüzgarın tek yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç sinüs eğrisi oluşturmaktadır.



Şekil 3.7 : 1986 Yılında Devreye Alınan Tehachapi Pass Darrieus Tipi Rüzgar Santrali.

Darrieus tipi rüzgar türbinleri ile kurulan en büyük santral 1986 yılında Quebec Kanada'da devreye alınmıştır. Şekil 3.7'de Darrieus tipi rüzgar santrali gösterilmektedir (Url-17). Santralde kullanılan Darrieus tipi rüzgar santrallarının yüksekliği 100 metre, çapı 60 metredir. Maksimum çıkış gücü 4 MW olmasına rağmen mekanik problemler ve dayanıklılık sorunlarından dolayı 2,5 MW'a düşmüştür. Santral 1993 yılında kapatılmıştır (Öztürk, 2008).

Savonius tipi: Savonius tipi rüzgar türbinleri, 1925 yılında Finlandiyalı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış "kanat" adı verilen iki yarım

silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir moment oluşmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanmaktadır (Busby, 2012). Şekil 3.8’de Savonius tipi rüzgar türbin örneği gösterilmiştir (Url-18).



Şekil 3.8 : Çin’de Kurulan Savonius Tipi Küçük Ölçekli Rüzgar Santrali.

Diğer dikey eksenli rüzgar türbinlerine göre; düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip bulunmaktadır. Yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi üstünlüklere sahiptir. Savonius rüzgar türbinlerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius rüzgar türbinlerinin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadırlar. Son yıllarda yapılan Savonius rüzgar türbinlerinin çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirmesi yönünde olmuştur (Akova, 2008).

Eğik eksenli rüzgar türbinleri

Dönme eksenleri düşeyle rüzgar yönünde açı yapan rüzgar türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Şekil 3.9'da eğik eksenli rüzgar türbin tasarımı gösterilmektedir (Url-19).



Şekil 3.9 : Eğik Eksenli Rüzgar Türbin Tasarımı.

3.2.2 Kanat sayısına göre rüzgar türbinleri

Kanat sayılarına göre rüzgar türbinleri 4 çeşittir. Bunlar;

- Tek kanatlı,
- İki kanatlı,
- Üç kanatlı ve
- Çok kanatlı

olarak nitelenmektedirler.

Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri: Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin kullanımının temel amacı, pervanelere etkiyen yüksek rotasyonel hızın düşürülmesidir. Diğer yandan, tek kanatlı rüzgar türbini aerodinamik olarak dengesizdir ve bu durumda ek hareketler ile istenmeyen bazı yüklere sebep olabilmektedirler. Bu mekanizmayı kontrol etmek için, göbek kısmına ek yapılar yapmak gerekmektedir. Kanat uç hız oranlarının yüksek olmasından dolayı gürültü seviyeleri de yüksektir. Şekil 3.10'da tek kanatlı rüzgar türbinleri gösterilmektedir (Url-16).



Şekil 3.10 : Tek Kanatlı Rüzgar Santrali Bologna, İtalya.

İki Kanatlı Rüzgar Türbinleri: İki kanatlı olarak üretilen rüzgar türbinlerinde motor milinde meydana gelen dinamik hareketleri önlemek için yapılan tasarımlar ve rotor milinde oluşacak titreşimleri azaltmak için rotor şaftına dikey ve iki rotor kanadına dik olacak şekilde konumlandırılmış ‘kadrın’ sistemleri bulunur (Öztürk, 2008).



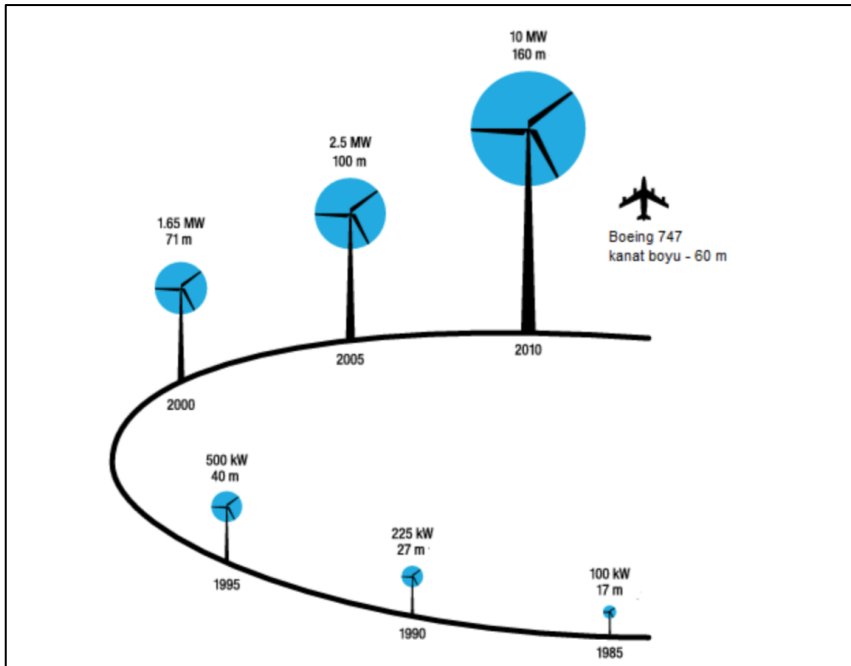
Şekil 3.11 : Çinli MingYang Firmasının 6.5 MW Gücündeki İki Kanatlı Rüzgar Türbini.

Üç kanatlı rüzgar türbininden farklı olarak dönmeden meydana gelen ve kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahip bulunmalarıdır. Bu durum rüzgar türbini üzerinde ek bir yüklenme meydana getirmekte ve sadece sallanan göbek ile giderilebilmektedir. Sallanan göbek kullanılmasının nedeni, dönen pervane üzerinde büyük atalet moment değişimlerinin etkilerini önlemektir.

Tek kanatlı rüzgar türbin modelleri kadar olmasa da, kanat uç hız oranları yüksektir. Buna karşın, düşük rüzgar hızlarında elektrik enerji üretebilmektedir. Ancak, gürültü seviyeleri yüksek olmaktadır (Öztürk, 2008).

Günümüzde iki kanatlı rüzgar türbinlerinin kullanım oranı azalsa da 2014 yılında Çinli Ming Yang firması 6.5 MW gücünde iki kanatlı rüzgar türbinini devreye alarak iki kanatlı rüzgar türbin teknolojisini yeniden yaygınlaştırmaya çalışmaktadır. Şekil 3.11’de iki kanatlı rüzgar türbini gösterilmektedir (Url-20).

Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri: Üç kanatlı rüzgar türbinleri (Danish concept), modern rüzgar türbinleri olarak en çok kullanılan modeller arasında yer almaktadır. Bunun temel nedeni, pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Üç veya daha fazla kanada sahip olan tüm pervaneler bu avantaja sahip bulunmaktadır. (Öztürk, 2008). Şekil 3.12’de üç kanatlı rüzgar türbinlerinin gelişimi gösterilmektedir (Url-21).



Şekil 3.12 : Rüzgar türbin gücü tarihsel gelişimi.

Üç kanatlı rüzgar türbininde salınma neden olan atalet momenti değişimi olmadığından, göbek (hub) içinde titreşimi önleyen pahalı elemanlara gerek olmamaktadır. Tek ve iki kanatlı rüzgar türbinlerine göre düşük olduğu için sessiz çalışmaktadırlar. Ayrıca göz estetiğini bozmayışları da görünüm açısından oldukça avantaj sağlamaktadır (Öztürk, 2008).

Üç kanatlı rüzgar türbinlerinin kapasitesi, gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün artmaktadır. Amerikan enerji teknolojisi firması AMSC ürettiği 10 MW maksimum güce sahip rüzgar türbini ile bu alanda yeni bir çığır açmıştır denebilir. Şekil 3.12’de Rüzgar türbin gücü gelişimi görülmektedir.

Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri: Çok kanatlı rüzgar türbinleri, rüzgar türbinlerinin ilk örnekleridir. Şekil 3.13’de çok kanatlı rüzgar türbini gösterilmiştir (Url-22). Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı rüzgar türbinleri düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artım göstermektedir. Türbin kanatları genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artmaktadır. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılmaktadır. Günümüzde hala kullanılan yerler olsa da kullanımı yaygın değildir (Nurbay ve Çınar, 2005).



Şekil 3.13 : Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri, Hollanda.

3.2.3 Jeneratör tiplerine göre rüzgar türbinleri

Rüzgarın kinetik enerjisi kanatlar tarafından mekanik enerjiye dönüştürülmekte ve bir dönme hareketi oluşturulmaktadır. Kanatların dönüş hızı, dış ortamda bulunan rüzgar hızı ile orantılı olsa da türbin üzerinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan jeneratörün nominal hız değeri her zaman sağlanamamaktadır. Türbin üzerinde bulunan dişli kutusu jeneratörün ihtiyacı olan devir sayısına ulaşılmasını sağlayan ve rotor ile jeneratör arasındaki bağlantıyı gerçekleştiren ekipmandır. Genellikle birçok dişlinin bir arada kullanıldığı dişli kutusu jeneratör ile birlikte türbin üzerindeki en ağır parça durumundadır.

Dişli kutusunun kullanılması türbin ile elde edilen mekanik enerjide kayıpların oluşmasına ve türbin veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bu sebepten ötürü, günümüzde rüzgar türbinleri üzerinde, kullanılan jeneratör tipine bağlı olarak dişli kutusu olmadan üretilebilmektedirler. Sistem üzerinde dişli kutusunun bulunmaması olası arızaların azalmasını ve türbin güvenilirliğinin artmasını sağlamaktadır.

Türbinden elde edilen mekanik enerji, elektrik enerjisine jeneratör vasıtasıyla dönüştürülmektedir. Günümüzde kullanılan rüzgar türbinleri ile elektrik enerjisi doğru akım ya da alternatif akım jeneratörleri kullanılarak üretilebilmektedir. Küçük güçlü rüzgar türbinlerinde verimliliğin artırılması amacı ile sıklıkla doğru akım jeneratörleri tercih edilirken, şebekeye bağlanan büyük güçlü türbinlerde alternatif akım jeneratörleri kullanılmaktadır.

Doğru akım jeneratörleri

Doğru akım jeneratörleri şebekeden bağımsız çalışan rüzgar türbini uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. En büyük avantajları, hız kontrollerinin kolay olması ve tüm rüzgar hızlarında enerji üretimine elverişli olmalarıdır. Doğru akım jeneratörleri özellikle yüksek bakım maliyetlerinden ötürü büyük güçlü türbinlerde tercih edilmemektedir (Kurt, 2011).

Senkron jeneratörler

Senkron jeneratörler günümüzde ticari olarak kullanılan rüzgar türbinlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Senkron jeneratörler yapılarına göre farklı rüzgar hızlarında dişli kutusuna gerek duyulmadan istenilen düzeyde üretim gerçekleştirebilmekte ve şebekeye güç elektroniği ekipmanlarının yardımıyla bağlanmaktadır.

Günümüzde rüzgar üretim sistemlerinde sıklıkla kullanılan senkron jeneratör tipleri:

- Alan sargılı senkron jeneratörler
- Sabit mıknatıslı senkron jeneratörler

olmaktadır.

Senkron jeneratörlerin yapısı gereği, bağlı bulunduğu güç sisteminin kararlılığına da katkı sağlamaktadır.

Asenkron jeneratörler

Asenkron jeneratörler, senkron jeneratörlere kıyasla daha basit bir yapıya sahiptir ve maliyetleri daha düşüktür. Bu nedenle rüzgar türbinlerinde günden güne daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. Senkron jeneratörlerden farklı olarak asenkron makinalar, jeneratör modunda çalışabilmek için dışarıdan uyarıtıma ihtiyaç duymaktadırlar (Kurt, 2011). Böylece, gereksinim duyulan manyetik alan karşılanmış olur. Günümüzde rüzgar üretim sistemlerinde sıklıkla kullanılan asenkron jeneratör tipleri:

- Sincap kafesli asenkron jeneratörler
- Rotoru sargılı asenkron jeneratörler

olmaktadır.

Asenkron jeneratörlerin kullanıldığı rüzgar türbinleri, bağlı buldukları güç sistemlerinde, kararlılığı ve güç kalitesini negatif etkileyebilmektedirler. Ayrıca yapıları gereği büyük bir reaktif güç ihtiyacına sahip bulunmaktadır.

3.2.4 Kurulum yerlerine göre rüzgar türbinleri

Rüzgar enerjisi santralleri kurulum yerine göre:

- Kara üstü (onshore) ve
- Açık deniz (offshore)

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Kara üstü (onshore) rüzgar santralleri

Rüzgar enerjisi projeleri rüzgar çiftliği için uygun sahaların tespit ve temin edilmesi ile başlamaktadır. Türbinler, sahanın karakteristik özellikleri baz alınarak seçilmektedir. Günümüzde kara üstü (onshore) rüzgar santralleri, açık deniz (offshore) santrallerine göre daha yaygın kullanılmaktadırlar. Kara üstü (onshore)

rüzgar santrallerinin daha yaygın olmasının sebebi, açık deniz (offshore) santral yatırım maliyetinin yüksek olması ve şebeke bağlantısının zor olması gösterilmektedir. Ancak, kara üstü (onshore) sahalarda pek çok verimli ve uygun noktaya rüzgar enerjisi santralleri kurulmuştur. Azalan verimli sahalarda, yatırımcıları rüzgar potansiyeli açısından bakir saha olarak, açık deniz (offshore) bölgelerine yöneltecektir.

Dünyanın en büyük kara üstü rüzgar santrali Çin'in Gansu bölgesinde inşa edilmektedir. 2009 yılında başlatılan projede 6.000 MW'lık rüzgar türbinin kurulumu gerçekleştirilip, devreye alınmıştır (Url-23). 2020 yılında tamamlanması beklenen projenin toplam kapasitesi 20.000 MW olacaktır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : Çin'in Gansu Bölgesinde Yapımı Devam Eden Dünyanın En Büyük Kara Üstü (Onshore) Rüzgar Santrali.

Açık deniz (offshore) rüzgar santralleri

Rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından deniz üzeri alanlar karalara göre daha zengin olduğu için denizlerde de, deniz üstü (offshore) rüzgar enerji santralleri (RES) kurulmaya başlanmıştır. İlk etapta kıyıdan uzaklığı 10 kilometreyi ve derinliği 10 metreyi geçmeyen alanlarda offshore rüzgar enerji santralleri kurulmuştur. İlk deniz üstü rüzgar enerji santrali 5 MW kurulu güce sahip Danimarka'da Looland Adası yakınlarında kurulan Vindeby rüzgar enerji santralidir. Şekil 2.15'te deniz üstü rüzgar santrali görülmektedir (Url-24).

Kara üstü (onshore) ve açık deniz (offshore) rüzgar enerji santralleri arasında belirgin bazı farklar bulunmaktadır. Bunlar;

- Açık deniz bölgelerinde daha kararlı ve yüksek rüzgar hızlarının bulunması sebebiyle daha fazla enerji üretimi yapılabilmektedir.
- Açık deniz rüzgar enerji santrallerinde işletme ve bakım maliyetleri daha yüksek olmaktadır.

Açık deniz rüzgar enerji santrallerinde deniz koşullarından kaynaklı çeşitli lojistik problemlerle karşılaşılabilir.



Şekil 3.15 : İngiltere'nin Kent Coast bölgesinde bulunan Açık Deniz (Offshore) Rüzgar Türbini.

3.3 Rüzgar Enerji Santrallerinin Dünyadaki Yeri ve Gelişimi

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji, sürekli kullanılabilen ve aynı zamanda doğal olarak yerine konulabilen enerjidir. Son yıllarda birçok ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesiyle birlikte rüzgar enerjisinin önemi de artmış bulunmaktadır. Özellikle, 2000'li yılların başından itibaren önemli gelişim göstermiştir bulunmaktadır.

Avrupa Birliği, 2020 yılında tüketilen toplam enerjinin % 20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını hedef koymuştur (Url-9). Avrupa Birliği

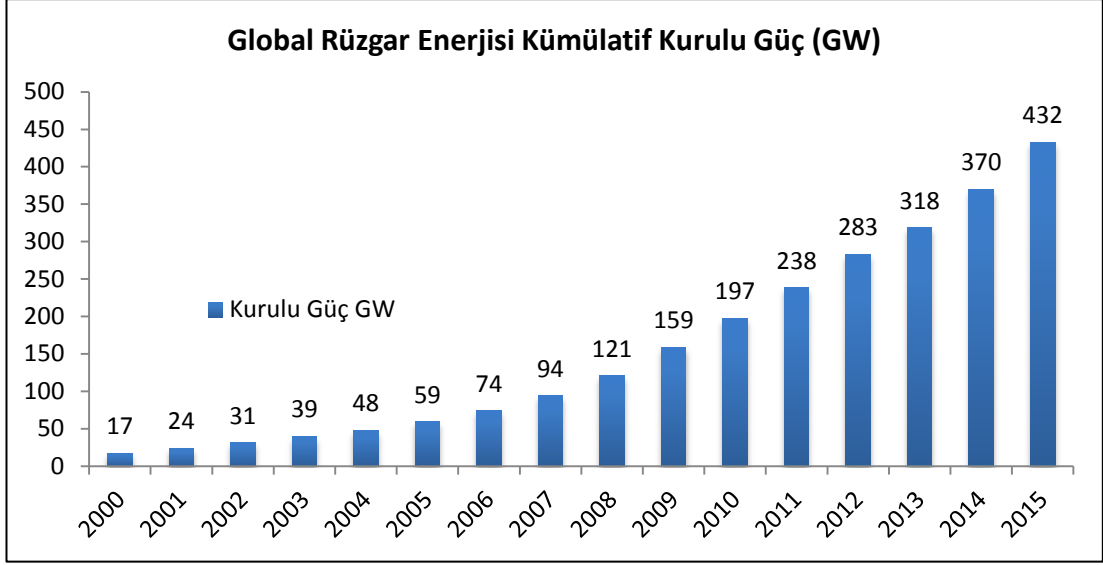
ülkelerinin bu hedefe ilerlerken en çok kullandıkları yenilenebilir enerji kaynağı rüzgar enerji santralleri (RES) olduğu gözlenmektedir.

Rüzgar enerjisinin yaygınlaşmasıyla birlikte dünya genelinde CO₂ emisyonlarında büyük bir azalma görülecektir. Avrupa Birliği'nin Kyoto Sözleşmesi'nde yer alan CO₂ emisyonunun azaltılmasına yönelik hedefinde, enerji sektörü önemli bir rol üstlenmiştir (Url-9).

Rüzgardan faydalanılarak ilk kez elektrik üretmenin üzerinden 100 yılı aşkın bir süre geçmiş olmasına karşın insanoğlu hala bu güçten tam manası ile yararlanamamıştır. 1961 yılında Roma'da Birleşmiş Milletler'in düzenlediği "Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansında" rüzgar santralleri teknolojisi yeterli görülmeyerek, geliştirilmesi istenmiştir. O yıllardaki yüksek türbin maliyetleri ve buna ek olarak fosil yakıtlar ile çalışan termik santrallerin maliyetlerinin düşmesi ve petrolün ucuz olması da bu konuda etkin olmuştur. Ancak, 1970'li yıllarda ortaya çıkan petrol krizi ve türbin teknolojilerinin gelişmesi nedeniyle maliyetlerin düşüşü rüzgar enerjisi için bir fırsat olmuştur. 1980'li yıllardan itibaren de bu konuda çeşitli çalışmalar yapılarak rüzgardan elektrik enerjisi üreten rüzgar santrallerinin geliştirilmesi devam etmiştir. Bugün, Çin başta olmak üzere ABD, Almanya ve diğer bazı Kuzey Avrupa ülkelerinde bu konuda önemli gelişmeler sağlanmıştır.

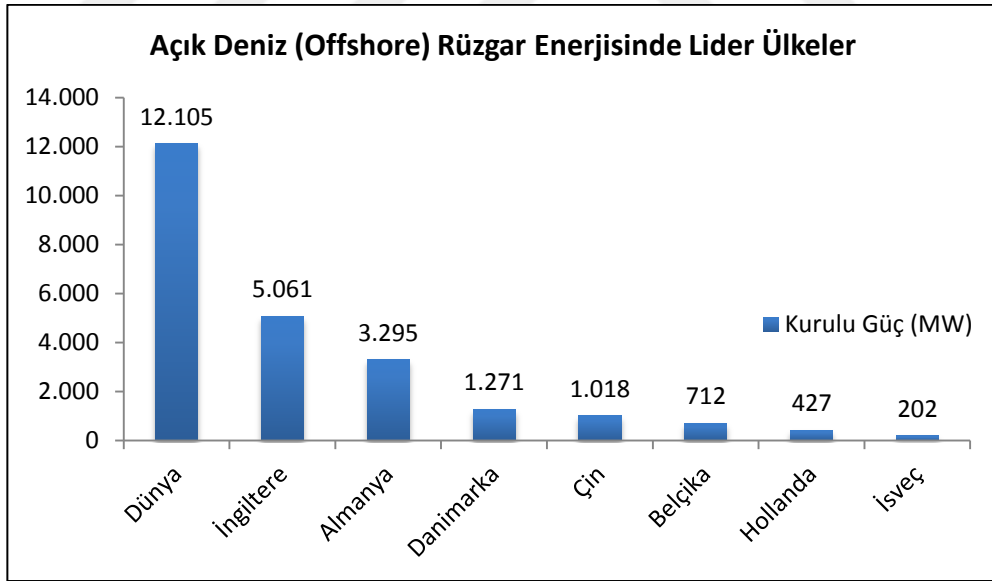
İklim değişikliği ile mücadele ve aynı zamanda tüm ülkeler için kendi enerji arz güvenlikleri için önemli bir rol oynayan rüzgar enerjisi 2000 yılından itibaren önem kazanarak diğer yenilenebilir enerjiler içinde kayda değer bir pozisyona sahip olmuştur. 1999 yılında 13,5 GW olan toplam kurulu güç sadece on beş yıl içinde 32 kat artarak 2015 yılında 432 GW'a yükselebilmiştir (Şekil 3.16). Bu artış, yaklaşık yıllık % 25 büyüme anlamına gelmektedir (GWEC, 2015).

Şekil 3.16'da sunulan kapasite artışının önemli bir kısmı kara üstü (onshore) rüzgar enerji santrallerinden gelmekteyken, oldukça küçük bir kısmı deniz tipi rüzgar enerji santrallerinden sağlanmıştır. 2015 Aralık dönemi itibariyle küresel açık deniz (offshore) tipi rüzgar enerjisi kapasitesi ise 12.1 GW'a yükselebilmiştir (GWEC, 2015).



Şekil 3.16 : Global Kümülatif Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü 2000-2015.

Şekil 3.17’de, bu alanda sektörün lokomotif ülkesinin Birleşik Krallık olduğu görülmektedir. Ancak, açık deniz (offshore) rüzgar enerjisinin teknolojisinde gelişmeler, rüzgar enerjisi kullanımının daha da hızlı büyüyeceği tahmin edilmektedir (GWEC, 2015).



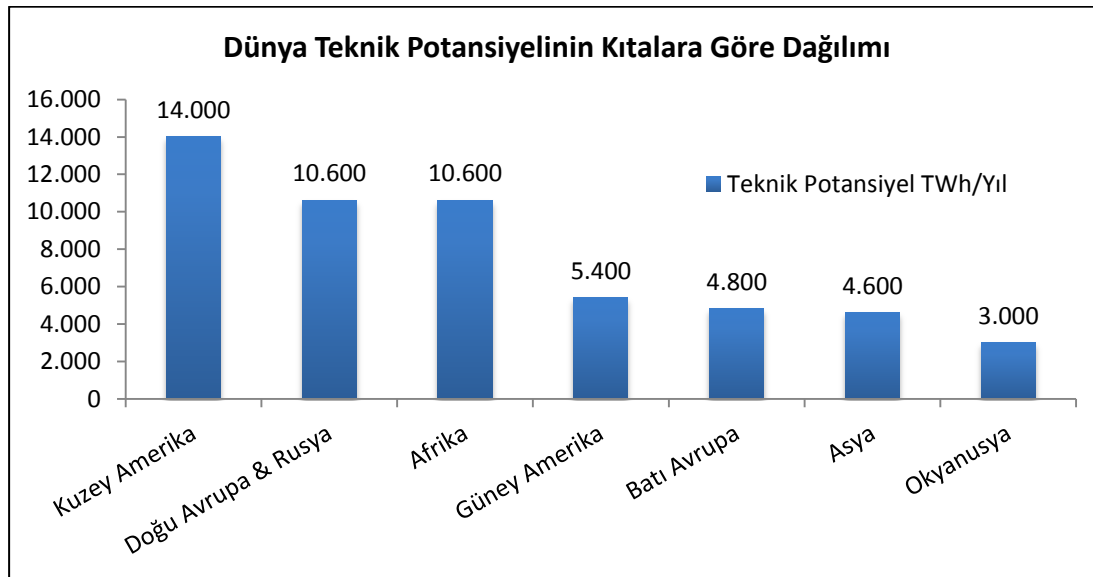
Şekil 3.17 : Açık Deniz (Offshore) Rüzgar Enerjisinde Lider Ülkeler.

Rüzgar enerjisinin global teknik potansiyeli için kesin bir rakam söylemek pek olası görülmemektedir. Bu değer türbin teknolojisine, rüzgar enerji santrallerinin yerleşimine hatta rüzgar tahminlerinin doğruluk derecesine göre bile değişkenlik arz edebilmektedir.

Global rüzgar enerjisi potansiyelinin tespit edilmesinde kullanılan iki yaklaşım bulunmaktadır. Çoğunlukla da, bu yaklaşımlar birleştirilerek bir sonuca ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bahsi geçen iki yöntemden birincisi fizik tabanlı sayısal tahmin yöntemlerinin kullanılması, diğeri ise mevcut rüzgar hızı ölçümlerinin enterpolasyonu suretiyle rüzgar dağılımları elde edilmesidir.

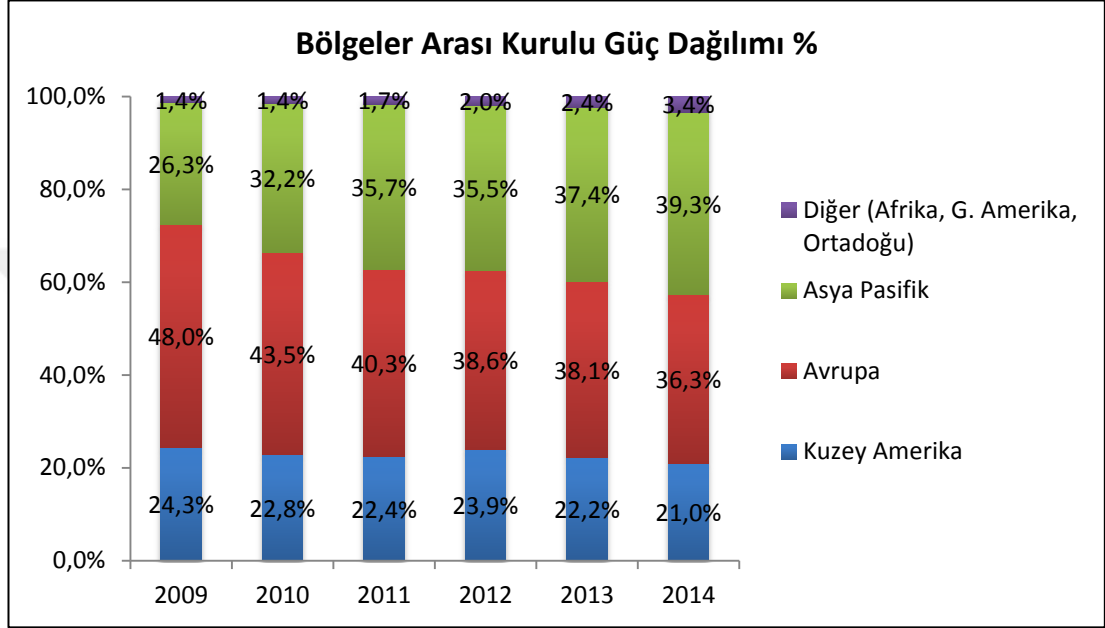
Sonuç olarak denilebilir ki; rüzgar enerjisi potansiyeli tahmin edilirken, tahminin kendi doğasından kaynaklanan farklılıklarının yanı sıra kullanılan tahmin metodundan kaynaklanan farklılıklar da söz konusu olmaktadır. Literatürde bu konu hakkında yapılmış çok sayıdaki çalışmanın sonuçlarından bir derleme yapılması halinde dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyeli en düşük 19,400 TWh/yıl olarak, en yüksek 125,000 TWh/yıl olarak tahmin edilmektedir (Url-25).

Dünya rüzgar enerjisi potansiyelini belirleyebilmek amacıyla Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Url-25). Bu araştırmalarda, 5.1 m/s üzerinde rüzgar kapasitesine sahip bölgelerin uygulamaya dönük ve toplumsal kısıtlar nedeni ile %4'ünün kullanılacağı öngörüsüne dayanarak dünya teknik rüzgar potansiyeli 53.000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu teknik potansiyel elbette ki dünya genelinde eşit olarak dağılım göstermemektedir. Doğal olarak bazı bölgeler diğerlerine oranla daha avantajlı durumdadırlar. Şekil 3.18'de bölgesel rüzgar enerjisi teknik potansiyelinin bölgesel dağılım oranları görülmektedir.

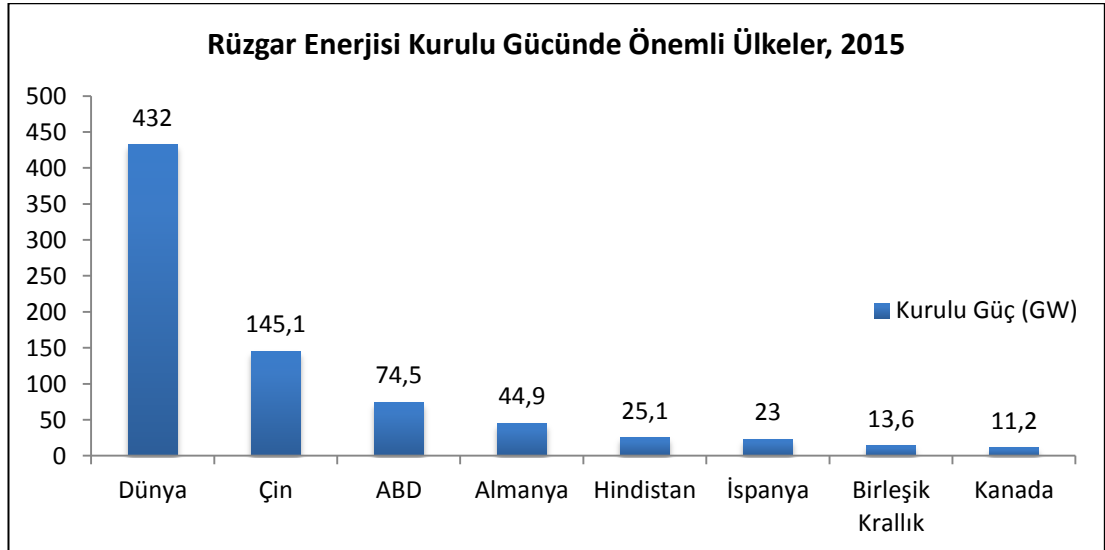


Şekil 3.18 : Güncel Global Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Bölgesel Dağılımı.

Global rüzgar enerjisi kurulu gücünün bölgeler arası dağılımına bakıldığında Asya Pasifik kıtası lider pozisyonda olduğu gözlenmektedir. 2009-2013 yılları arasında Avrupa kıtası sektöre lider durumda iken 2014 yılında Asya Pasifik Avrupa'yı geride bırakmıştır (BP, 2015). Afrika ve diğer kıtalarda rüzgar enerjisi yeni yaygınlaşmaktadır ve toplam kurulu gücün dağılım oranı az da olsa artmaktadır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 : Bölgeler Arası Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Dağılımı.



Şekil 3.20 : Küresel Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü ve Önemli Ülkelerin Kurulu Gücü.

Asya'daki artışın lokomotifi Çin olup, bu artışı Hindistan, Kore ve Japonya desteklemektedir. Kuzey Amerika'da ise ABD ve Kanada kurulu güçte lider ve istikrarlı ülkeler durumundadır. Şekil 3.20'de rüzgar enerjisi kurulu gücünde önemli ülkeler görülmektedir (GWEC, 2015).

Kurulu kapasite açısından lider durumdaki Çin'in toplam kurulu gücü 2015 yılsonu itibariyle 145 GW'ı geçmiş bulunmaktadır. İkinci konumdaki ABD'deki toplam kurulu güç ise 74,5 GW'tır. Kurulu kapasiteden elde edilen elektrik, ülkenin toplam elektrik üretimine oranlandığında durum değişmektedir. Çin'de rüzgar enerjisi toplam elektrik üretiminin % 2,8'ini karşılamaktadır. ABD'de ise bu rakam % 4,4 civarındadır (GWEC, 2015).

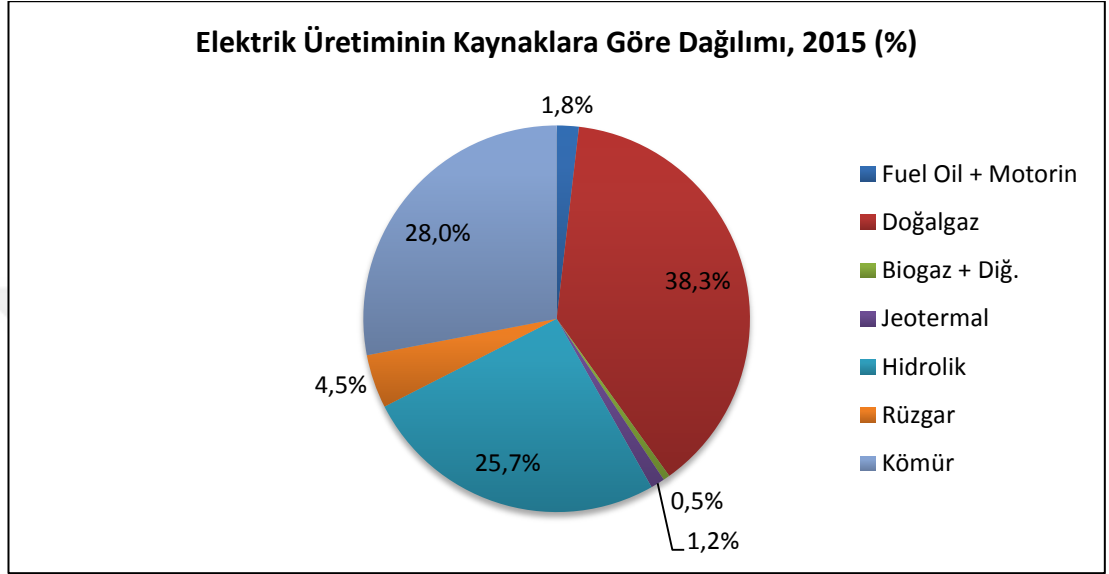
Bazı ülkelerde ve bölgelerde ise rüzgar en büyük elektrik kaynaklarından biri halindedir. Elektrik üretiminde rüzgar enerjisi kullanım oranı açısından lider ülke Danimarka'dır. Bu açıdan Danimarka'nın ve diğer lider ülkelerin rüzgar enerjisi kullanım oranları; Danimarka % 39, Portekiz % 24, İspanya % 20,4 , Almanya % 9,6 şeklindedir. Toplam rüzgar enerjisi kurulu kapasitesinin toplam nüfusa oranını incelendiğinde ise, aynı sıralamaya ulaşmak mümkündür. Toplam kurulu kapasiteleri en yüksek olan ülkeler kişi başına kapasitede daha geride bulunmaktadır. (IEA, 2014).

Global rüzgar enerjisi teknik potansiyelinin en düşük 19,400 TWh/yıl, en yüksek 125,000 TWh/yıl olduğu düşünülürse ve Şekil 3.20'deki istatistiklerle karşılaştırıldığında dünya üzerinde halen değerlendirilmeyi bekleyen önemli bir rüzgar enerjisi potansiyeli olduğu anlaşılmaktadır. Enerji alanında rüzgar enerjisinin son yıllardaki yükselen yıldız konumunu önümüzdeki dönemde de koruyacağına dair güçlü bir beklenti bulunmaktadır (GWEC, 2015).

3.4 Rüzgar Enerji Santrallerinin Türkiye'deki Yeri ve Gelişimi

Türkiye'nin enerji rakamlarına bakıldığında (Şekil 3.21); 2015 yılı sonu itibariyle, toplamda 259.194 GWh elektrik üretilmiştir. Bu üretiminin %38,3'ü doğalgazdan, %28'i kömürden, %25,7'si hidrolik kaynaklardan, %1,8'i sıvı yakıtlardan, %4,5'i rüzgardan ve %1,7'si jeotermal ile biyogazdan sağlanmış bulunmaktadır (Şekil 3.21). Türkiye'de 2015 yılında enerji arzının petrolde %93'lük, doğalgazda %99'lük bölümü ithalat ile karşılanmıştır. Bu rakamlar, enerji talebi bakımından önemli bir

yüzde ile dışa bağımlı olduğunu göstermektedir. Her yıl büyüyen bir ekonomiye sahip olan Türkiye enerjiye aç bir ülke durumundadır. Arz güvenliği ve çeşitliliği enerji politikalarına yön vermesi gereken argümanlardır. Bunları sağlamanın yollarından birisi de kendi kaynaklarımıza yönelmek ile enerji kaynaklarımızı çeşitlendirmek olmaktadır (Url-26).

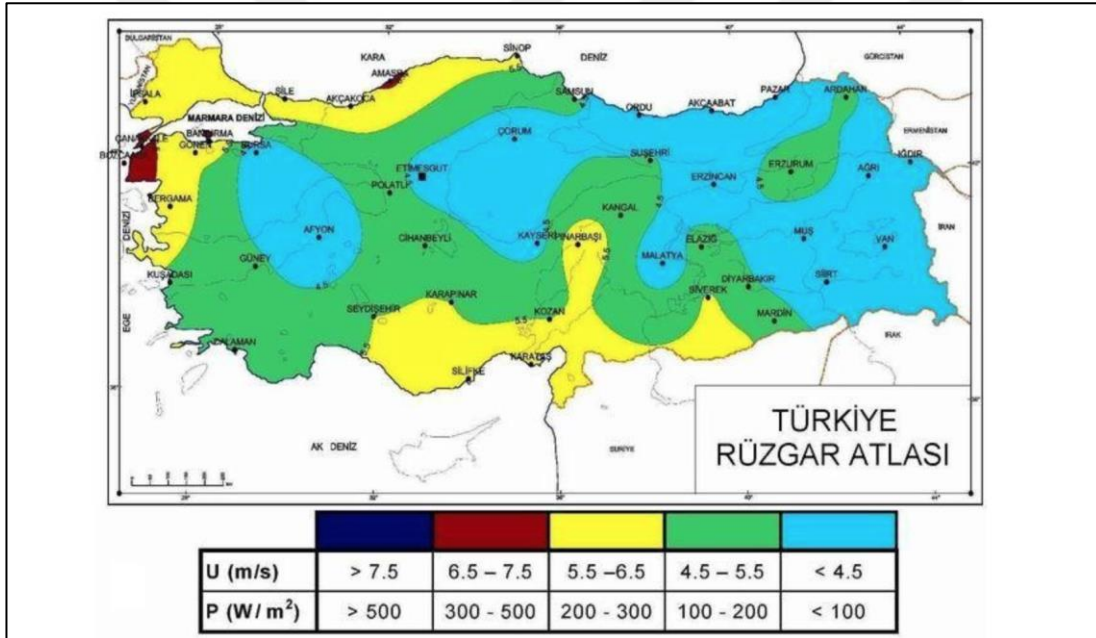


Şekil 3.21 : Türkiye'nin 2015 Yılı Elektrik Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı.

Belirli bir bölgedeki rüzgar potansiyelini belirleyebilmek için iki farklı sınıflandırmadan yola çıkılmaktadır. Bu iki sınıflandırmadan biri olan Avrupa Rüzgar Enerjisi Ajansı (EWEA)'nın sınıflandırması, belirli bir yükseklikteki (türbinlerin kule yüksekliği, 50 m olarak kabul edilmektedir) rüzgar hızına dayanmaktadır. Diğer sınıflandırmada ise, yine belirli bir yükseklikteki rüzgar yoğunluğundan yola çıkarak sonuca varılmaktadır.

Türkiye'nin tüm bölgelerinin rüzgar potansiyeli birbirinden farklıdır. Farklı bölgelerdeki rüzgar potansiyellerin belirlenebilmesinde rüzgar atlasları kullanılmaktadır. Rüzgar atlasları yer düzeyinden belirli yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı ve yönüne ilişkin yeterli süre ve sayıdaki meteoroloji istatistiklerinin, özel bilgisayar programları yardımıyla değerlendirilmesi sonucunda elde edilen, enerji planlaması yapan kurum ve kuruluşlara, yatırımcılara rüzgar gücü ve kapsadığı alanlar hakkında bilgi veren rüzgar istatistikleri olarak tanımlanmaktadır (Url-27).

Türkiye rüzgar atlası 2007 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) ve Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü (DMİ) tarafından hazırlanmıştır. Atlas oluşturulurken homojenliği sağlayacak dağılımı gösteren 96 adet meteoroloji istasyonu için yerinde incelemeler yapılmış ve bu istasyonlardan 45 adedinin verileri kullanılmaya uygun bulunmuştur. Toplanan veriler Danimarka Meteoroloji Teşkilatınca hazırlanan ve Avrupa rüzgar atlasının hazırlanmasında kullanılan WASP paket programı ile işlenerek Türkiye Rüzgar Atlası oluşturulmuştur (Şekil 3.2.2). WASP programı rüzgar hız verilerinin Weibull dağılımına uygunluk gösterdiği varsayımıyla rüzgar hız verisi, bölge pürüzlülük verisi, yakın çevre engel bilgileri ve bölge topoğrafyası verilerini kullanarak rüzgar istatistiklerini oluşturmaktadır (Url-28).



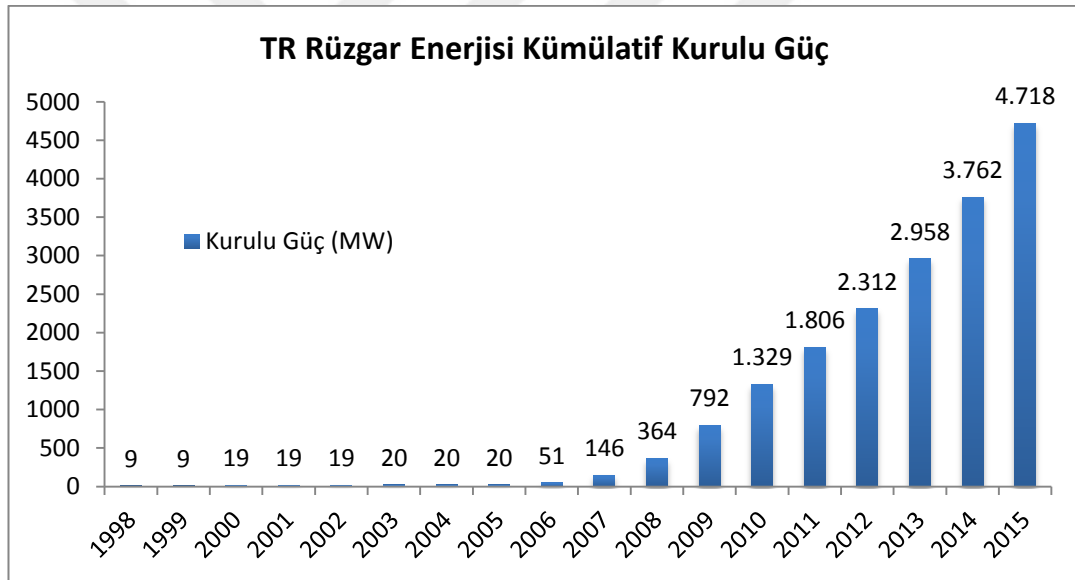
Şekil 3.22 : 2007 Yılında Hazırlanan Türkiye Rüzgar Haritası.

Seçilen istasyonlardan uzun süreli gözlemler sonucu toplanan bu verilerden yola çıkılarak Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Çıkan sonuca göre Türkiye 131.756,40 MW'lık bir rüzgar teknik potansiyeline sahiptir. Ekonomik potansiyel ise 47.849,44 MW'dır (Url-28).

Türkiye'de ilk rüzgar enerji santrali 1,5 MW kapasitede olup, İzmir'de 1998 yılında üretime geçmiştir. 2001 yılında çıkarılan elektrik piyasası kanundan önce kurulmuş olan rüzgar enerjisi santralleri otoprodüktör ya da yap işlet devret sistemine göre çalışan tesislerdir. Şekil 3.24 incelendiğinde 2007 yılına kadar kurulu kapasitede

kayda değer bir değişim yaşanmamıştır. 2007 ve sonrasında ise hızla artan bir profil göze çarpmaktadır (TÜREB, 2016).

Elektrik piyasası yönetmelik düzenlemeleri sonucu rüzgar enerji santrali (RES) yapmak isteyen yatırımcıların Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan (EPDK) lisans alma gerekliliği getirilmiştir. Buna bağlı olarak, 1 Kasım 2007'de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ilk kez lisans alımı için başvuruları kabul etmiştir. Toplamda 751 rüzgar projesi bağlamında 78.180 MW'lık lisans başvurusu yapılmış bulunmaktadır. Başvurular onaylanıp projeler hayata geçtikçe toplam rüzgar enerjisi kurulu gücü giderek artmış ve 2015 yılsonu itibariyle 4.718 MW'a ulaşmıştır (TÜREB, 2016). Şekil 3.23'de Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllar itibariyle değişimi gösterilmiştir. Bu değerler ile Türkiye, dünyada kurulu kapasite açısından 15. sırada bulunmaktadır (GWEC, 2015).



Şekil 3.23 : Türkiye Rüzgar Enerjisi Kümülatif Kurulu Güç.

2015 yılsonu itibariyle toplamda 9.730 MW'lık RES lisansı verilmiştir fakat işletmede olan toplam kurulu güç 4.718 MW'tır. Bu farkın çeşitli nedenleri vardır; temel nedenleri lisans almadan inşaata başlamaya kadar olan süreçte bürokratik işlemlerin uzunluğu ve kurumlar arasındaki koordinasyon eksikliği, projelerde yeterli güvenilir rüzgâr verilerinin bulunmaması, proje finansmanında yaşanan sıkıntılar olarak gösterilebilir (TÜREB, 2016).

2023 yılı hedeflerine göre 2023 yılına gelindiğinde toplam elektrik enerjisi üretiminin %30'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi

amaçlanmaktadır. Rüzgar enerjisi özelinde ise 20.000 MW kapasiteye ulaşılması hedeflenmektedir. Bu hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için sağlam bir yasal altyapıya ihtiyaç vardır. Bu alt yapı Türkiye'de Avrupa Birliği uyumlu bir şekilde kurulmuş biçimdedir.

Türkiye enerji piyasası 2001 yılında yürürlüğe giren 4628 nolu kanunla radikal bir değişim yaşamıştır. Bu kanun ile Türk enerji piyasasının serbest piyasa yapısına kavuşması yönünde önemli bir adım atılmış olup, yenilenebilir enerji kaynaklarının özendirilmesi amacıyla ve piyasanın denetlenme ve düzenlenmesini Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na (EPDK) bırakmıştır. 4628 nolu kanun ile yenilenebilir enerji yatırımcılarını dolayısıyla rüzgar enerjisi yatırımcılarını özellikle ilgilendiren iki düzenleme getirilmiştir. Bunlardan ilki yenilenebilir enerji yatırımcıları lisans ücretlerinin sadece %1'ini ödeyecek olmaları, ikincisi ise yatırımlarının tamamlanma süresini takip eden ilk 8 yıl boyunca yıllık lisans ücretinden muaf olmalarıdır. Bunların dışında, yenilenebilir enerji tedarikçilerine şebeke bağlantılarında öncelik hakkı tanınmıştır (Url-13).

2005 yılında 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’un yürürlüğe girmesi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi daha da artmıştır.

Yasal düzenleme kapsamında rüzgar enerjisine uygulanan alım garantisi teşvikler aşağıda sıralanmıştır (Url-13).

1. 2020 yılına kadar işletmeye girecek olan rüzgar santralleri için, santralin işletmeye giriş tarihinden itibaren 10 yıl boyunca 7.3 \$ cent/kWh'lik teşvikli alım garantisi.
2. Türbinlerde kullanılan mekanik ve/veya elektromekanik aksamın tamamının yerli üretim olması halinde sabit alım fiyatının üzerine 5 yıl süre ile uygulanacak ek teşvikler.
3. Kurulu kapasitesi 1 MW'ın altında kalacak tesisler için lisans ve şirket kurma zorunluluğu muafiyeti. Ayrıca bu gruba giren üreticiler ürettikleri enerjinin fazla kısmını şebekeye satmak istedikleri takdirde, kanunda belirlenen 7.3 \$ cent/kWh'lik alım fiyatından yararlanabileceklerdir. Yerli ekipman teşviklerinden yararlanmaları da söz konusudur.

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisi santrallerine (RES) sektörel açıdan

bakıldığında, rüzgar enerjisi sektörü, yüksek yararlar beklenen bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Ancak bu yararlar, yüksek kuruluş sermayesi ve yatırım maliyetlerini de beraberinde getirmektedir (Hatipoğlu, 2010).

Türkiye enerji piyasası için bir diğer önemli regülasyon olan Enerji Verimliliği Kanunu'ndan da kısaca bahsetmek faydalı olacaktır. Enerji verimliliği, belirli bir enerji miktarı ile üretilebilecek ürün ve hizmet sağlamayı ölçmektedir. En ucuz enerjinin tasarruf edilen enerji olmasından dolayı enerji verimliliğinin artırılması daha az enerji ile aynı koşullarda çalışma anlamına gelmektedir. 18 Nisan 2007 tarihinde yasalaşan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nun birinci maddesinde belirtildiği gibi "Bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonominin üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerji kullanımında verimliliğin artırılmasıdır" (Url-13).

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için istikrarlı ve sürekli bir enerji politikası önemli bir yere sahiptir. Bu amaç doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi ve eşzamanlı olarak enerji verimlilik bilincinin kazandırılması gerekmektedir. Türkiye elektrik piyasasında bu iki önemli alanda gerekli düzenlemeler yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan, dünyada ve özellikle Avrupa'da büyük gelişme gösteren, rüzgar enerjisinin Türkiye'de kullanımı oldukça göreceli olarak düşüktür. Türkiye, Avrupa'da en yüksek rüzgar potansiyeline sahip ülkelerden biri olmasına karşın gerekli gelişmeyi gösterememiştir. Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde, Türkiye'nin sahip olduğu rüzgar enerjisi potansiyeli öncelikle değerlendirilmesi gerekmektedir.



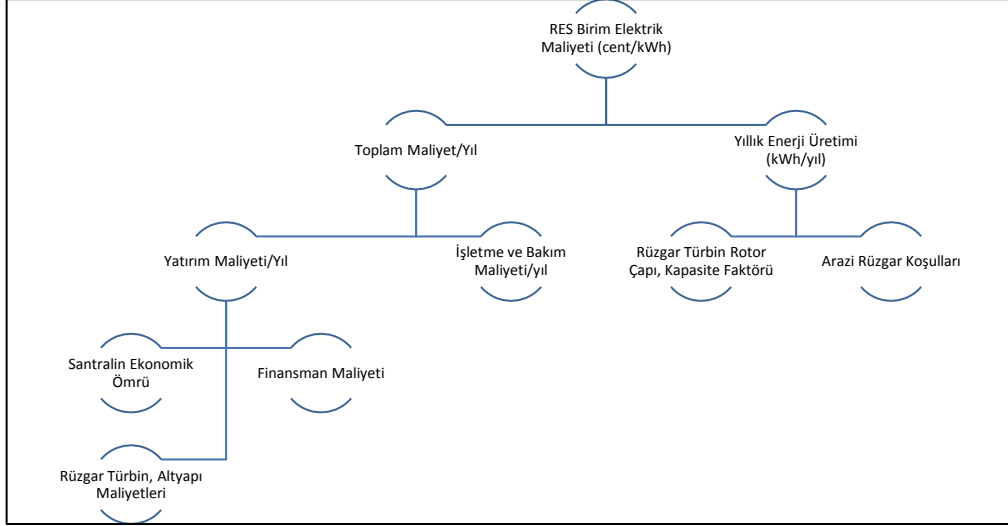
4. RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİNİN EKONOMİK ANALİZİ

4.1 Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Birim Maliyet Ekonomisi

Her yatırım gibi enerji yatırımlarında da yatırımın yapılıp yapılmayacağına karar verilirken, maliyet ve elde edilmesi beklenen getiri karşılaştırılmasının yapılması gerekmektedir. Üretilen birim enerji başına maliyet hesaplanarak o yatırımın yapılıp yapılmayacağına karar verilmektedir.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin önemli avantajlarından birisi; RES için yakıt maliyetinin bulunmamasıdır. RES yatırımlarının ekonomik analizi genel kabul görmüş yatırım analizleri ile benzerdir. Yatırımın yapılabilir düzeyde olması için birim kWh üretim maliyetinin birim kWh satış fiyatından düşük olması gerekmektedir. RES projelerinin birim maliyeti birçok parametreye bağlı olmaktadır. Bunlar; projenin toplam yatırım bedeli, proje giderleri, işletme ve bakım giderleri, amortisman süresi ve kredi faiz oranları olmaktadır. Ayrıca, saha kalitesine bağlı olan enerji üretimi, türbinlerin teknik emre amadeliği ve bakım ekibinin güvenilirliği faktörlerinin rüzgar projesinin ekonomik gelişimi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır.

Rüzgar enerjisi yatırımlarında sağlıklı karar verebilmek için, projenin net finansal dönüşü hesaplanması gerekmektedir. Bunun için, hem üretimi içeren projenin maliyeti, hem de projeden beklenen kar iyi tahmin edilmelidir. Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin birim maliyetinin hesaplanmasında etkili olan faktörler Şekil 4.1’de belirtilmiştir (EWEA, 2012).



Şekil 4.1 : Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin birim fiyat analizine etki eden faktörler.

4.1.1 Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (SEM)

Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (SEM), farklı teknolojilerin elektrik üretim maliyetlerini kıyaslayıp söz konusu maliyetlerin zaman içerisinde nasıl değiştiğini izlemek için kullanılan bir yöntemdir. SEM, yatırımcı için, makul bir getiri oranını karşılayan bir projenin net bugünkü değer seviyesini yakalaması için gerekli olan elektrik satış fiyatı için de bir gösterge olarak kabul edilebilmektedir (Ragheb, 2015).

SEM analizi yapılırken yatırım maliyeti, yakıt maliyeti, sabit-değişken maliyetler ve işletme-bakım maliyetleri dikkate alınmaktadır. Denklem 4.1’de enerji santralleri için SEM formülasyonu açıklanmaktadır (Ragheb, 2015).

$$SEM = \frac{\left[\left(\sum_{t=-1}^{t=N} \frac{I_t}{(1+i)^t} \right)_{in\text{şaat}} + \left(\sum_{t=0}^{t=n-1} \frac{(F_t + O\&M_t - D_t + T_t)}{(1+i)^t} \right)_{i\text{retim}} \right]}{\left(\sum_{t=0}^{t=n-1} \frac{G_t}{(1+i)^t} \right)_{i\text{retim}}} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de:

SEM = Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti [$\$ \text{cent}/kWh$]

I_t = t Yılda yapılan yatırım [$\$$]

$O\&M_t$ = t Yıldaki işletme ve bakım maliyeti [$\$$]

D_t = Amortisman [$\$$]

T_t = Vergi Maliyeti [$\$$]

F_t = Yakıt maliyeti [$\$$]

N = Santralin ekonomik ömrü

i = Faiz oranı

ifade etmektedir.

Rüzgar enerjisi santrallerinde yakıt maliyetinin bulunmadığı ve santral inşaat süresinin 1 yıldan az olduğu göz önüne alınarak SEM formülasyonu, rüzgar enerjisi santralleri için denklem 4.2'deki gibi ifade edilebilir.

$$SEM_{\text{rüzgar}} = \frac{\sum_{t=0}^{t=n-1} \frac{(I_t + O\&M_t - D_t + T_t + R_t)}{(1+i)^t}}{C \sum_{t=0}^{t=n-1} \frac{P_t}{(1+i)^t}} \quad (4.2)$$

Burada (Denklem 4.1 notasyonuna ilave olarak):

R_t = Santral sahası kira maliyeti [\$]

C = Santral kapasite faktörü

P_t = t Yıldaki elektrik üretim kapasitesi [kWh]

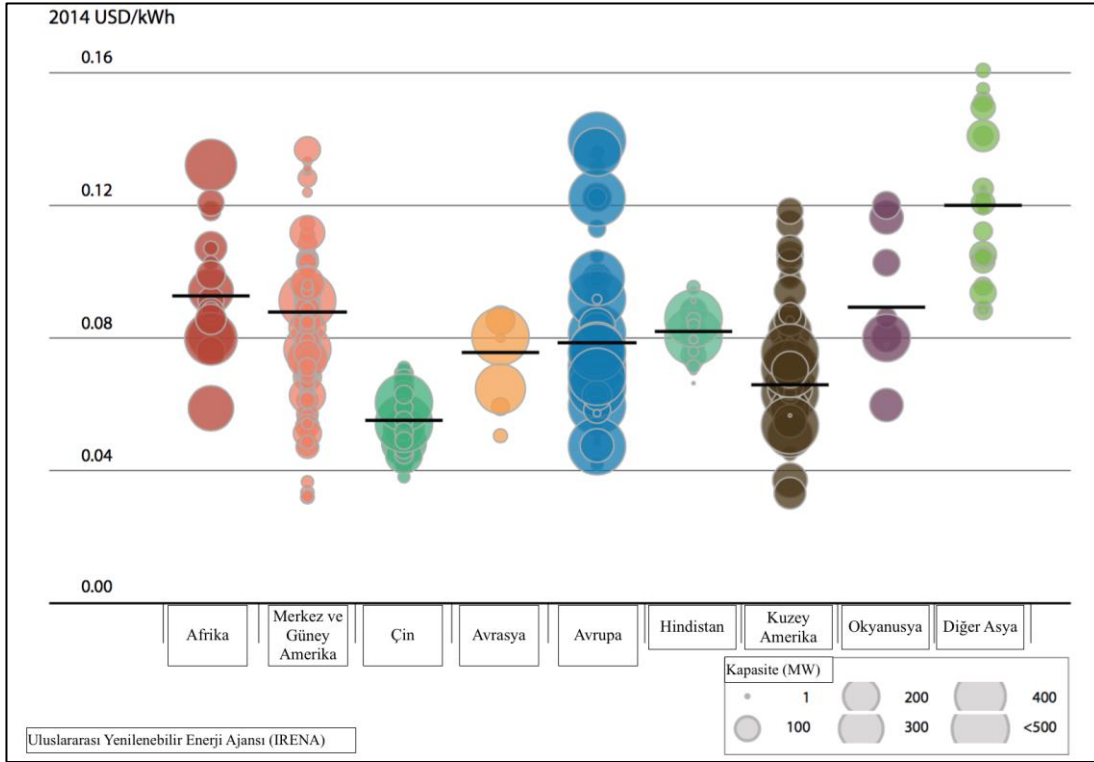
G_t = t Yıldaki elektrik üretimi [kWh]

ifade etmektedir. Ayrıca;

$$G_t = P_t \times C \quad (4.3)$$

olarak yazılabilmektedir.

Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (SEM), rüzgar enerjisi teknolojisinin kullanıldığı bölgeye göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların sebebi bölgenin ekonomik koşulları, rüzgar enerjisi teknoloji düzeyi, projenin kurulu gücü ve rüzgar rejimi olarak açıklanabilir. Uluslararası Yenilenebilir Ajansı'nın (IRENA) 2014 yılı raporunda farklı bölgelerdeki SEM incelenmiş olup Şekil 4.2'de gösterilmektedir (IRENA, 2014).



Şekil 4.2 : Seviyelendirilmiş Enerji Maliyetinin Bölgesel Dağılımı.

Veriler incelendiğinde, teknoloji ve işçilik maliyetinin diğer bölgelere göre düşük olduğu Çin ve Hindistan’da SEM’in daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. 2014 yılında SEM’in en düşük 649 \$/kW (Çin) civarında, en yüksek 1360 \$/kW (Gelişmiş ülkelerde) olduğu görülmektedir.

Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (SEM), teknolojinin gelişmesi ile birlikte düşüş eğilimi göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde rüzgar santrallerinin SEM’lerindeki düşüşün 2030 yılına kadar devam etmesi beklenmektedir. Söz konusu beklentiler proje stokları, politika hedefleri ve farklı teknolojilere ilişkin gelişim eğrileri üzerine yapılan analizlere dayanmaktadır. 2020 sonrası için politika hedefleri ve argümanlarının mevcut olmadığı hallerde yeni kurulu güç ilaveleri yerel arz-talep ekonomisine göre belirlenmesi gerekmektedir. Yeni üretilecek elektrik enerjisi; kurulu güç talebini bir dizi teknoloji ile karşılayacak, ancak proje ömrü boyunca seviyelendirilmiş enerji maliyetleri en düşük olan projeler diğer projelere göre daha fazla tercih edilecektir (Url-29).

4.2 Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Yatırım Maliyeti

Her enerji projesinin bir yatırım maliyeti bulunmaktadır. Yatırım maliyeti 3 ana başlıkta toplanabilmektedir. Bunlar;

1. Ar-Ge maliyetleri,
2. Tekrarlanmayan yatırım maliyetleri,
3. Tekrarlanan yatırım maliyetleri olarak

gruplanabilmektedir.

Ar-Ge maliyetleri: Fizibilite analiz maliyetleri, proje dizayn maliyetleri, yazılım maliyetleri, mühendislik verileri maliyeti ve ekipman testleri maliyetini kapsamaktadır. Ar-Ge maliyetleri projenin başından işletmeye geçene kadar devam eden maliyetlerdir.

Tekrarlanmayan yatırım maliyetleri: Projede kullanılacak olan makine ve parçaların maliyetleri ile lojistik maliyetleri, tesisler ve yapım maliyetini içermektedir. Genel olarak bakıldığında, tekrarlanmayan yatırım maliyetleri yatırımın inşaat ve montaj fazına dair yatırım maliyetleri olarak değerlendirilebilir.

Tekrarlanan yatırım maliyetleri: Proje geliştirme maliyetleri, yedek parça maliyeti, sistem entegrasyon maliyetleri olarak ele alınabilir (Uğurel, 2010).

Rüzgar enerjisi santrallerinin yatırım maliyeti hesaplanırken, rüzgar türbininin maliyetinden başka, diğer gerekli bileşenlerle bağlantılı maliyetler ayrıca göz önüne alınmalıdır. Bu maliyetler, arazi, kontrol sistemleri, güç ayar ünitesi, inşaat işleri, şebeke entegrasyonu için elektriksel altyapı ve kurulum ücret maliyetlerini kapsayabilir. Eğer türbin komponentleri yerli sanayi ile sağlanamıyorsa, söz konusu ürünlerin ithalat ve lojistik maliyeti de dikkate alınmalıdır (Mathew, 2006).

4.2.1 Tesis alan maliyeti

Yatırımın en düşük maliyetle gerçekleştirilmesinde kuruluş yeri seçiminin önemi büyüktür. Yatırım yapılırken, hem rüzgar hızının elverişli ve sürekli olduğu hem de yatırım maliyetlerini arttırmayacak bir alan seçilmelidir.

Rüzgar enerjisi projelerinde tesis alan maliyeti kuruluş yerine göre farklılık gösterebilir. Eğer kuruluş yeri ana şebekeye uzak ise iletim maliyetleri artacaktır.

Şebekeye uzaklık nedeniyle iletim hatlarında oluşacak olan enerji kayıpları da maliyet hesaplarına eklenmelidir (Onat ve Cambazoğlu,2002).

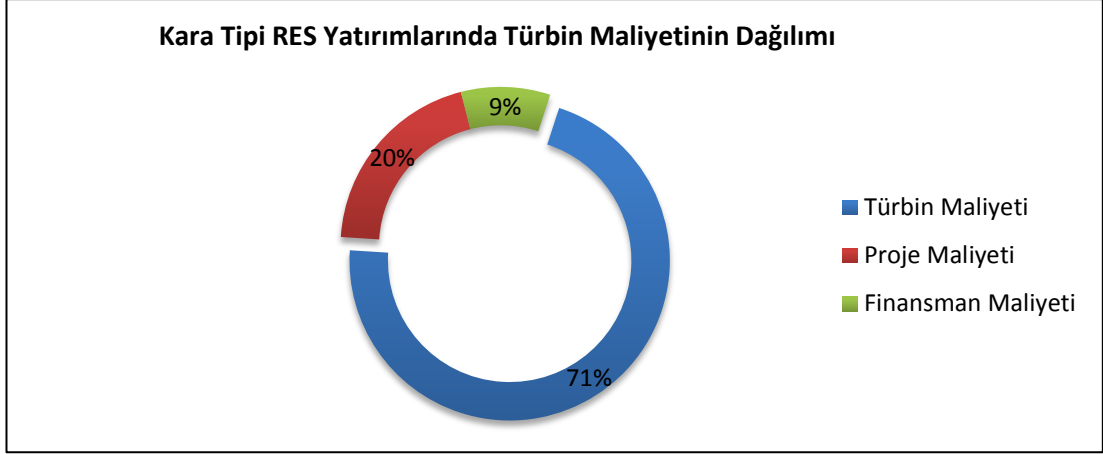
Rüzgar türbini için yer seçilirken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlardan biri rüzgar santralının inşa edileceği alanın ulaşım ve taşıma faaliyetlerine uygun olmasıdır. Rüzgar türbinleri oldukça büyüktür ve yerleştirilmeleri için vinçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple inşa alanının vinçlerin girebileceği özellikte olması gerekir. Tesis edilecek alan etrafında rüzgarın hızını kesebilecek türde yapılar bulunmamalıdır. Tesis edilecek yer, göçmen kuşların geçiş yolu üzerinde bulunmamalıdır.

Türbinin kurulacağı alan bir tüzel kişi veya zümreye ait ise o kişilerden bu alan satın alınarak veya kiralanarak bu alan üzerine türbin tesis edilmektedir. Eğer bu alan, devlete ait ise gerekli prosedürler tamamlanarak satın alma veya kiralama gerçekleştirilmektedir. Satın alma veya kiralama belli bir sabit gider oluşturmakta ve bu gider, maliyet olarak oluşturmaktadır (Onat ve Cambazoğlu,2002).

Türbinin kurulacağı alan kamuya ait ise, 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” gereği izin irtifa kira hakkı ve kullanma izni bedellerinde %50 indirim yapılmaktadır. Özel kişi veya tüzel kişilerin mülkiyet sahibi olma durumlarında bu alan satın alınarak veya kiralanarak ya da ortaklı teklif verilerek türbin tesis edilebilir (Url-13).

4.2.2 Türbin Maliyeti

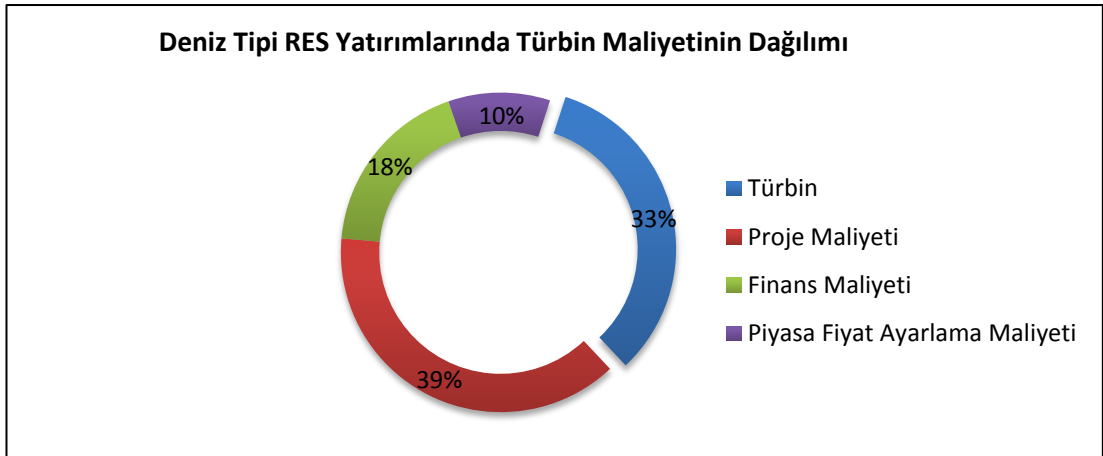
Tesis edilecek alan belirlendikten sonra, optimum olarak türbin seçiminde, bölgenin elektrik ihtiyacını karşılama, şebekeye aktarma ve bağlantı ve altyapı koşulları çerçevesinde ideal büyüklükte türbinler belirlenmektedir. Türbin maliyetini belirleyen kriterler arasında türbinin birer parçası olan kule, pervane, dişli kutusu, kontrol sistemi, alternatör, gibi elemanlar da maliyeti büyük ölçüde belirler. Kule malzemesinin çelik veya beton olmasına göre ve kule yüksekliğine bağlı olarak maliyet değişim gösterilmektedir. Rüzgar pervanesinde ise pervanenin alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastik gibi malzemelerden yapılması, benzer şekilde maliyeti değiştirmektedir. Bu gibi etkenler göz önüne bulundurulup, optimum türbin tasarımı yapıldığında maliyet de optimize edilmiş olmaktadır (Url-30).



Şekil 4.3 : Kara Tipi (Onshore) RES Yatırım Dağılımı.

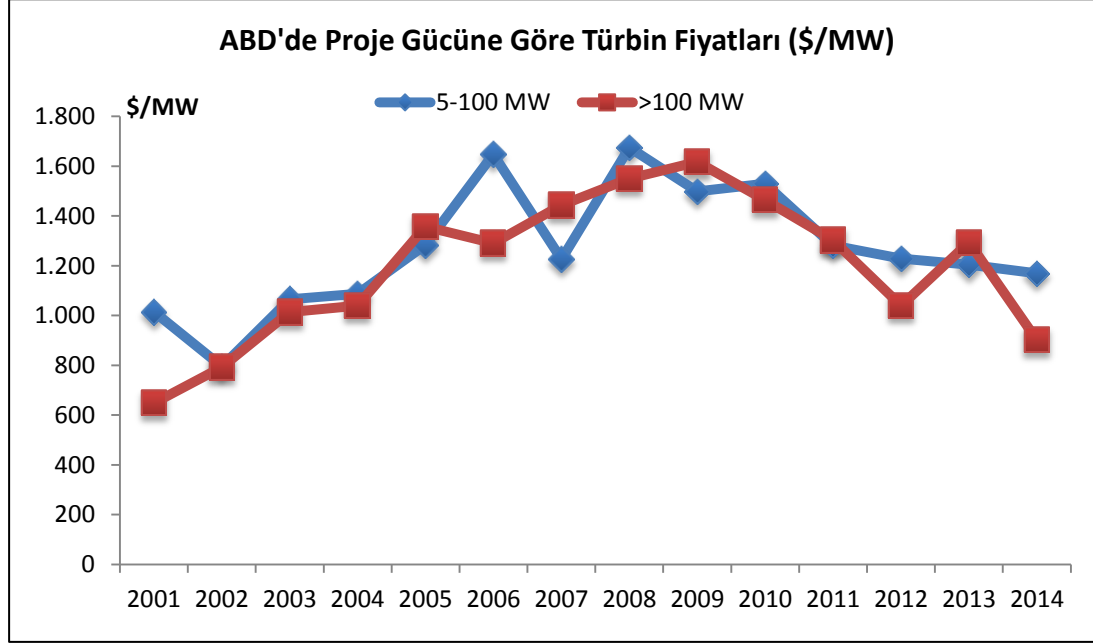
Şekil 4.3’de kara tipi (onshore) yatırımlarındaki maliyet dağılımı gösterilmektedir. Kara tipi rüzgar enerjisi yatırımları göz önüne alındığında sabit maliyetlerin %71’ini türbin maliyeti, %20’sini proje maliyeti (altyapı, şebeke, inşaat maliyeti) %9’unu da finansman maliyeti, oluşturmaktadır (NREL, 2014). Kara tipi rüzgar enerjisi yatırımlarındaki proje maliyeti bölüm 4.3’de, finansman maliyeti ise bölüm 4.6.3’de detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

Şekil 4.4’de deniz tipi (offshore) yatırımlarındaki maliyet dağılımı gösterilmektedir. Deniz tipi (offshore) yatırımlarda ise türbin maliyetlerinin sabit maliyetleri içindeki oranı %33, proje maliyetlerinin (zemin, altyapı, şebeke, inşaat maliyeti) oranı %39, finansman maliyeti %18 ve piyasa fiyat ayarlama maliyetinin oranı %10 olarak gerçekleşmektedir (NREL, 2014).



Şekil 4.4 : Deniz Tipi (Offshore) RES Yatırım Maliyeti Dağılımı.

Türbin fiyatları (ölçek ekonomisi kapsamında) projenin kurulu gücüne göre farklılık göstermektedir. ABD’de 5-100 MW kurulu gücü olan projeler için, 2014 yılında (2004’den beri) en düşük değerini görmüştür (Şekil 4.5). 2014 yılında teslimatı yapılan türbinlerin maliyeti 5-100 MW kurulu gücü olan projeler için ortalama 1,17 milyon \$/MW olarak gerçekleşmiştir (Url-31).



Şekil 4.5 : ABD’de Proje Gücüne Göre Tarihsel Türbin Fiyatları.

4.2.3 İletim maliyeti

Üretilen elektrik enerjisinin türbin çıkışından itibaren son kullanıcı olan tüketicilere ulaştırılmasında iletim hatlarına gereksinim duyulmaktadır. İletim hatlarının yanı sıra, üretilen elektrik enerjisinin kullanıcılara iletimi, trafolar sayesinde üretilen gerilim yükseltılarak sağlanmaktadır. Bu sayede iletim esnasında oluşacak kayıplar en aza indirgenmiş olmaktadır. Tüketicilere gelindiğinde, elektrik enerjisi tekrar trafolar sayesinde kullanılabilir seviyeye düşürülmektedir.

Enerji iletimi iki şekilde sağlanmaktadır. Genelde ülkemizde kullanılan iletim sistemi havai hatlar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Havai hatta, direkler vasıtasıyla enerji iletimi havadan sağlanmaktadır. Diğer bir iletim sistemi yeraltı kabloları ile gerçekleştirilen sistemdir. Bu sistemde hat üzerinde bir arıza gerçekleştiğinde arızanın tespiti zor olacağından pek tercih edilmemektedir. Bilindiği gibi iletim esnasında kullanılan trafolar, iletim hatları ve direkler birer maliyet unsurudur. İletim maliyetlerini en aza indirmek için rüzgâr türbininin kurulduğu yerin elektrik

sağlayacağı bölgeye uzak olmaması gerekmektedir. Uzaklık, iletim maliyeti ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. İletim esnasında kullanılan iletkenlerin kalitesi de maliyeti üzerinde rol oynamaktadır (El-Osta and Kalifa, 2002).

4.3 Proje Giderleri

Tüm enerji projelerinde olduğu gibi, rüzgar enerjisi projelerinde de sabit maliyetler ve değişken maliyetler yatırım maliyetini oluşturmaktadır. Sabit maliyetler; türbin maliyetleri, kurulum, yol ve şebeke maliyetlerinden oluşmaktadır. Değişken maliyetler ise; ağırlıklı olarak işletme, bakım-onarım maliyetleri olmak üzere sigorta, vergi maliyetleri gibi kalemlerden oluşmaktadır. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması dolayısıyla rüzgar enerjisi yatırımları sermaye yoğun yatırımlardır. Bu aşamada ekonomik ve finansal analiz büyük önem arz etmektedir (Blanco, 2009).

4.3.1 İşletme-bakım maliyeti

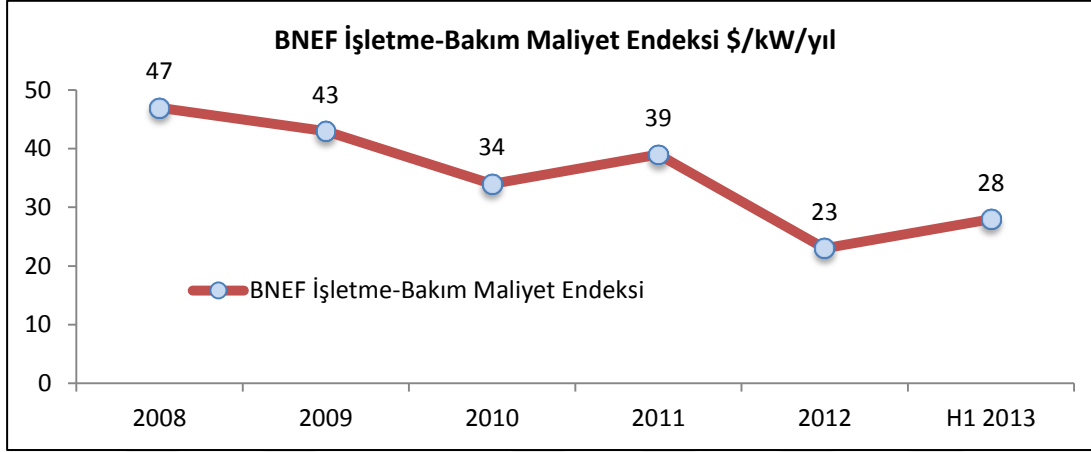
İşletme-bakım maliyetleri, santral kurulumu sonrası santralden enerji üretmek için yapılması gereken harcamalardır. İşletme maliyetleri, sabit işletme maliyeti ve değişken işletme maliyeti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Blanco, 2009).

Sabit işletme maliyeti: Çalışanların maaşları ve primler, santral genel ve idari harcamaları, santral destek ekipmanları, planlanmış bakımlar gibi maliyetlerdir.

Değişken işletme maliyeti: Santralde kullanılan yakıtlar, enerji, su, kimyasallar, katalizörler, gazlar, yağlayıcılar, tükenebilir malzeme ve kaynaklar ile atıkların neden olduğu maliyetlerdir.

Rüzgar türbinleri ile elektrik üretmek için yakıt gideri bulunmamaktadır. Bu durum fosil yakıtlara göre, rüzgarı daha da avantajlı kılmaktadır. Her ne kadar yakıt gideri bulunmasa bile türbinleri periyodik olarak bakım ve onarımlarının yapılması gerekmektedir. Periyodik bakım ve onarımlar türbinin ömrünün uzamasını sağlamaktadır. Türbin için oluşacak bakım ve onarım gideri türbinin çalışma süresi, diğer bir deyişle kapasite faktörü ile doğru orantılıdır. Türbin ne kadar çok çalışırsa o kadar çok yıpranmakta ve bakım- onarım giderlerinde de o kadar artış görülmektedir (Hatipoğlu, 2010).

Bakım maliyeti; pervane, alternatör, dişli kutusu, bıçaklar gibi türbin parçalarının ve enerjinin iletimi sırasında kullanılan trafolar, elektrik direkleri, iletim hatlarının da bakımlarını içermektedir.



Şekil 4.6 : İşletme-Bakım Maliyet Endeksinin Geçmiş Yıllardaki Değişim Trendi.

İşletme, bakım ve onarım maliyetleri için kesin bir trend belirlemek zor olmakla birlikte, yenilenen teknoloji ile işletme, bakım ve onarım maliyetlerinde bir düşüş yaşandığı söylenmektedir (Url-29). Şekil 4.6'da Bloomberg News Energy Finance tarafından açıklanan işletme-bakım maliyet endeksinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir (Url-29). Teknolojinin gelişmesi ile birlikte rüzgar türbinlerindeki güç artışı aynı projede daha az rüzgar türbininin kullanılmasını sağlamıştır. Bu gelişme, işletme, bakım-onarım maliyetleri üzerinde olumlu yönde etki göstermektedir. Trend belirlemeyi zorlaştıran ise işletme, bakım-onarım maliyetlerinin ülkeden ülkeye, hatta santralden santrale farklılık gösterebilmesidir. Bu bağlamda, bakım- onarım faaliyetlerinin etkinliği, bu faaliyetleri gerçekleştiren kişilerin performansına bağlı olup, belli bir deneyim gerektirmektedir. Bakım-onarım maliyetleri ile ilgili bir başka durum da, gerçekleşen maliyetlerin, proje aşamasında öngörülenden bir miktar daha yüksek olarak gerçekleşmesi olmaktadır (Wiser and Bollinger, 2014).

4.3.2 Sigorta maliyeti

Elektrik üretim sektörünün son derece dinamik olan doğasından kaynaklanan risklere karşı korunmak amacıyla yatırımcılar, projenin her aşamasında riske maruz değerinin

hesaplayıp sigorta ürünleri ile korunmalıdır. Doğanın cömertliğine güvenilerek yapılan enerji yatırımları, oluşabilecek tüm tehlikelere karşı sigortalanmalıdır.

Enerji projelerinde kullanılan sigorta ürünleri; inşaat&montaj dönemi, işletme dönemi olarak iki ana grupta toplanabilir.

İnşaat-montaj dönemi sigorta ürünleri:

- Projenin montajı öncesi yapılacak kara ve deniz nakliyatları ve bu nakliyalarda meydana gelebilecek aksamalara karşı gelir kaybı sigortası.
- Projenin montajı sırasında “Montaj All Risk” teminatı.
- İşveren sorumluluk teminatı.
- Projenin montajı sırasında türbinlerde meydana gelen bir hasar sebebi ile ortaya çıkan gelir kaybı teminatı.

olarak sayılabilir.

İşletme dönemi sigorta ürünleri:

- Yangın All Risks
- Makina Kırılması Teminatı
- Elektronik Cihaz Teminatı
- Genişletilmiş Makina Kırılması (CMI) Teminatı
- Grev, Lokavt, Terör (SRCC) Teminatı (yukarda belirtilen ana teminatlara ek olarak)
- Kâr Kaybı Teminatı
- İşletme Genel Sorumluluk
- Üçüncü Şahıs Mali Mesuliyet
- Çevre Kirliliği Teminatı

olarak sayılabilir.

Enerji projelerinde varlıkların teminat altına alınması, düzenleyici kurum olan Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) Lisans Yönetmeliği ile zorunlu hale getirilmiştir (Url-13). Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'nin 47. Maddesi'nde aşağıdaki ifadeye yer verilmiştir (Url-13) :

“Madde 47- 1. Lisans sahibi tüzel kişiler, gerçekleştirdikleri faaliyet ile ilgili tesis varlıklarını faaliyet türlerine göre muhtemel risklere karşı korumak amacıyla teminat altına almakla yükümlüdür.

2. Bu kapsamda lisans sahibi tüzel kişilerin üretim, iletim ve dağıtım tesislerini; doğal afetler, yangın, kaza, hırsızlık, üçüncü şahıslara karşı mali sorumluluk, terör ve sabotaj tehlikelerine karşı teminat altına almaları zorunludur.”

4.3.3 Vergi maliyeti

Enerji sektöründe vergi ve mali mevzuatlar, projelerin maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere birçok ülke, sürdürülebilir enerji politikası hedeflerine ulaşmak ve enerji güvenliğini sağlamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini teşvik etmektedirler. Sermaye yoğun yatırımlar arasında görülen yenilenebilir enerji yatırımlarında vergi maliyetlerini azaltmak amacıyla bazı vergilerde teşvik sistemi yaygın olarak benimsenmektedir. Ülkemizde rüzgar enerjisi projeleri için uygulanan vergiler ve teşvik sistemi aşağıda listelenmiştir.

Kurumlar Vergisi: Kurumlar Vergisi’nde matrah tespiti, Gelir Vergisi Kanunu’nun ticari kazanç hükümlerine tabi olup kurumlar vergisi genel oranı yüzde yirmi (%20)’dir. Kurumlar Vergisi Kanunu’nda elektrik piyasasında faaliyet gösteren şirketlere ilişkin özellikli düzenlemelere yer verilmemiştir. Bu kapsamda, sektörde faaliyet gösteren tüzel kişilere sağlanan Kurumlar Vergisi muafiyeti ya da kazançlara ilişkin özel bir istisna düzenlemesi söz konusu değildir. Sektörde faaliyet gösteren şirketlerin kazançları genel oranda Kurumlar Vergisi’ne tabidir (Url-32).

Katma Değer Vergisi (KDV) : Rüzgar enerjisi projeleri genel KDV oranına (yüzde on sekiz [%18]) tabi olup Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Kararın Uygulanmasına İlişkin Tebliğ’in 19. Maddesi uyarınca bu proje kapsamında da makine ve teçhizat alım işlemlerinin ilgili kurumlara başvurulması durumunda KDV’den muaf tutulacaktır (Url-33).

Ayrıca, 2015/7205 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile 50 kVA ve daha büyük olan ancak 500 kVA’yı geçmeyen rüzgar santrallerinin finansal kiralama şirketlerine veya bu şirketlerce teslimi ile bunların finansal kiralanması 31.01.2015 tarihinden itibaren yapılacak finansal kiralama sözleşmeleri kapsamında olmak şartıyla %1 KDV’li hale getirilmiştir (Url-33).

Damga Vergisi : Genel olarak ticari sözleşmelerde uygulanan Damga Vergisi oranı binde 9,48 (%0,948) iken kira sözleşmelerinde uygulanan oran binde 1,89 (%0,189)'dur (Url-34).

Damga Vergisi Kanunu'nda elektrik piyasası yatırımlarına yönelik herhangi bir istisna düzenlenmemekle birlikte, 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda yatırımlara Damga Vergisi için sağlanan teşvikler şunlardır; (Url-13)

- Organize toptan elektrik piyasalarında yapılan işlemlere ilişkin düzenlenen kâğıtlar Damga Vergisi'nden,
- 2015/8317 Sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile 31 Aralık 2020 tarihine kadar ilk defa işletmeye girecek üretim lisansı sahibi tüzel kişilere üretim tesislerinin yatırım döneminde, üretim tesisleriyle ilgili yapılan işlemler Harçtan ve düzenlenen kâğıtlar Damga Vergisi'nden müstesna edilmiştir.

Gümrük Vergisi: Yatırım Teşvik Sistemi 15 Haziran 2012, 2012/3305 sayılı "Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Karar" ile yürürlüğe girmiştir. Söz konusu teşvik sistemi kapsamında elektrik piyasası yatırımları genel vergi teşvikleri olan KDV istisnası ve Gümrük Vergisi muafiyetinden yararlanabilmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı, stratejik yatırımların teşviki uygulaması kapsamında, özellikle yurt içi üretim kapasitesinin ithalattan az olduğu ara mallarının veya ürünlerin üretimini özendirmeyi hedeflemektedir. Stratejik yatırım olarak tanımlanan bu nitelikteki yatırımlar bölge ayrımı gözetilmeksizin tüm bölgelerde Bölgesel ve Büyük Ölçekli Yatırımların Teşviki Uygulamalarına göre daha avantajlı şekilde desteklenmektedir (Url-35).

Bir yatırım projesinin, Stratejik Yatırımların Teşviki Uygulaması kapsamında desteklenebilmesi için aşağıda belirtilen koşulların tamamını karşılaması gerekmektedir (Url-35):

- En az 50 milyon TL tutarında sabit yatırım tutarı,
- Yatırım konusu üretimle ilgili yurt içi üretim kapasitesinin aynı ürünün ithalatından az olması,
- Rafineri ve petrokimya yatırımları hariç diğer yatırım konularında yapılacak yatırımla asgari %40 katma değer sağlanması
- Yatırım projesi tamamlandığında üretilecek olan (yurt içi üretimi olmayan

ürünler hariç) ürünler için Türkiye'deki toplam ithalat değerinin son bir yıl itibariyle en az 50 milyon Amerikan Doları olması

4.3.4 İşletim sistemi kullanımı ve işletim maliyeti

Sistem kullanım ve işletim bedeli, üretici firmanın, ürettiği elektriği müşterisine satabilmek için hangi şebekeyi kullandığına göre belirlenen ve TEİAŞ ve/veya bölgesinde bulunan görevli dağıtım şirketine ödenmesi gereken bedeldir.

Dağıtım sisteminin kullanılmasından dolayı ödenecek sistem kullanım ve işletim bedeli, EPDK'nın 323 ve 491/13 No.lu Kararlarında; (Url-13) iletim sisteminin kullanılmasından dolayı ödenecek olmaktadır. Sistem kullanım ve işletim bedeli ise, EPDK'nın 1894 No.lu Kararı'nda tanımlanmıştır (Url-13).

EPDK'nın 5991 No.lu Kararı'na göre 2016 yılında uygulanacak olan sistem kullanım bedeli ve sistem işletim bedeli Çizelge 4.1'de belirtilmiştir (Url-13).

Çizelge 4.1 : Bölgesel iletim sistemi kullanım bedeli tarifesi (TL/MW-yıl).

Bölge	Sistem Kullanım Bedeli	Sistem İşletim Bedeli
1	23.887,99	10.813,65
2	25.268	10.813,65
3	25.420,34	10.813,65
4	25.638,15	10.813,65
5	26.379,51	10.813,65
6	27.284,14	10.813,65
7	27.391,43	10.813,65
8	29.299,53	10.813,65
9	30.113,17	10.813,65
10	32.489,63	10.813,65
11	33.762,84	10.813,65
12	34.838,68	10.813,65
13	35.963,81	10.813,65
14	37.952,87	10.813,65

14/03/2013 tarihinde kabul edilen 6446 No.lu Elektrik Piyasası Kanunu Geçici 4. Maddesine göre 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girecek üretim lisansı sahibi tüzel kişilere sağlanan teşvik gereği;

“Üretim tesislerinin, işletmeye giriş tarihlerinden itibaren beş yıl süreyle iletim sistemi, sistem kullanım bedellerinden yüzde elli (%50) indirim yapılır.” (Url-13).

4.4 Amortisman Maliyeti

Amortisman, firmaların üretim faaliyetleri sonucunda kullandıkları, fiziksel ve fonksiyonel eskimeye uğramış tüm araç, gereç ve ekipmanlarını yenilemek amacıyla her yıl için ayırdıkları paradır. Fiziksel eskime; maddi varlıkların kullanım yoluyla aşınması, yıpranması, kırılması ve bozulması gibi eskimeleri ifade etmektedir. Buna karşılık, fonksiyonel eskime; yeni teknolojilerin ortaya çıkmasıyla beraber eski teknolojinin değerini yitirmesi durumudur. Amortisman hesaplamasında kullanılan temel parametreler (Url-36):

- Varlığın ekonomik ömrü,
 - Amortisman payı ayrılacak varlığın satın alım veya fatura bedeli,
 - Varlığın beklenen hurda değeri,
 - Seçilecek amortisman hesabı yöntemi,
- olarak sayılabilir.

4.4.1 Ekonomik ömür

Ekonomik ömür, bir yatırım projesinin yıllık ortalama karının maksimum olduğu işletme süresi olmaktadır. Bu bağlamda, ekonomik ömür; varlığın çeşitli koşullar altında çalışması durumuna ait geçmiş veriler dikkate alınarak belirlenen ömürdür denebilir. Bu ömrü belirleyen koşulların değişmesi durumunda ömür de değişmektedir. Periyodik bakım, işletme koşulları, atmosferik koşullar ve hammadde kalitesi ekonomik ömrü etkilemektedir. Bir varlığın ya da projenin ekonomik ömrü analitik olarak hesaplanabilir. Yıllık ortalama maliyet (YOM) değeri Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanabilmektedir (Ay, 2008).

$$YOM = \frac{YM}{n} + BM + (n - 1) \frac{G}{2} \quad (4.3)$$

Burada; YM yatırım maliyetini, BM ilk yıla ait bakım maliyetini; G bakım maliyetinin gelecek yıllardaki sabit artış miktarını; n ise yıl olarak kullanım süresi olmaktadır. Yıllık ortalama maliyet değerinin kullanım süresine göre türevini 0 yapan n değeri ekonomik ömür N'i ifade etmektedir. Buna göre ekonomik ömür Denklem 4.4 kullanılarak hesaplanmaktadır (Ay, 2008).

$$N = \sqrt{\frac{2YM}{G}} \quad (4.4)$$

4.4.2 Hurda değeri

Varlık veya yatırımın ekonomik ömrünü tamamlaması durumunda varsa taşıdığı parasal değer olmaktadır (Ay, 2008).

4.4.3 Amortisman hesabı yöntemleri

Her ülkenin koşullarına göre farklı amortisman tanımı ve hesaplama yöntemleri tanımlanmış olup, Türkiye’de amortisman Vergi Usul Kanunu’nun (V.U.K) 313. maddesinde tanımlanmıştır (Url-33).

V.U.K. madde 313: işletmede bir yıldan fazla kullanılabilen ve yıpranmaya, aşınmaya veya kıymetten düşmeye maruz kalan gayrimenkullerle, gayrimenkul gibi değerlendirilen iktisadi kıymetlerin; alet, edevat, mefruşat, demirbaş ve sinema filmlerinin değerlemeye ilişkin kanuni esaslara göre tespit edilen değerlerinin, amortismanına tabi tutulması gerekmektedir (Url-32).

Türkiye’de normal (doğrusal) ve azalan bakiyeler üzerinden amortisman hesabı yöntemleri kullanılmaktadır. Amortisman hesabı yöntemleri içinde yer alan bazı temel kavramların bilinmesi gereklidir. Bu kavramlar:

Yıllık amortisman payı, varlık için her yıl ayrılan pay olup kullanılan amortisman yöntemine göre sabit veya değişken olabilmektedir.

Toplam amortisman bedeli, varlık değerinden hurda değerinin çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır.

Amortisman oranı, yıllık amortisman payları hesabında kullanılan belirlenmiş bir orandır.

Devir amortismanı, bir varlığın t. yılsonuna kadar ayrılmış tüm amortisman paylarının toplamı olmaktadır.

Defter değeri, varlık değerinden t. yılsonuna kadar ayrılmış tüm amortisman paylarının çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır. Defter değeri hurda değerinin altına düşemez. Defter değeri hurda değerine eşit olduğu zaman, amortisman işlemi sona ermiş demek olmaktadır.

Normal amortisman yöntemi; bir varlık için her yıl eşit miktarda amortisman payının ayrıldığı amortisman tipidir. Normal amortisman yöntemine göre yıllık sabit amortisman payı (YAP), Denklem 4.5'deki gibi hesaplanmaktadır (Ay, 2008). Burada; VD, varlık değeri; HD, hurda değeri; EÖ ise ekonomik ömür'ü temsil etmektedir.

$$YAP = \frac{VD-HD}{EÖ} \quad (4.5)$$

Azalan bakiyeler amortisman yöntemi; bir varlık için her yıl azalan miktarda amortisman payının ayrıldığı amortisman tipidir. Azalan bakiyeler yöntemine göre YAP; VD, varlık değeri; BAP, o tarihe kadar birikmiş amortisman payları; EÖ ise ekonomik ömür olmak üzere Denklem 4.6'daki gibi hesaplanmaktadır (Ay, 2008). Azalan bakiyeler yönteminde, varlığın maliyetinin büyük bir bölümü ekonomik ömrün başlangıç yıllarında amorti edilir olmaktadır.

$$YAP = 2\left(\frac{VD-BAP}{EÖ}\right) \quad (4.6)$$

4.5 Finansal Analiz

Finansal analiz; bir projeye ilişkin nakit giriş ve çıkışları ışığında gerekli finansal kaynakların ihtiyacını, bunların nereden ve nasıl sağlanacağını belirleyerek proje önerisinin ekonomik açıdan arzu edilebilirlik derecesini ve potansiyel bir tesis olarak faaliyetini ya da işleyişini devam ettirip ettiremeyeceğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Yapılan finansal analiz sonucunda, eğer proje karlı değilse ya da istenilen düzeyde değilse projeden vazgeçmek gerekir. Eğer proje karlı ise uygulamaya koymak için proje planı hazırlanmalı ve uygulamaya konulmalıdır (Sarıslan, 1994).

Yatırım projelerini değerlendirilirken genellikle aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır:

- Net Bugünkü Değer Analizi,
- Geri Ödeme Süresi Analizi,
- Fayda/Maliyet Analizi,
- İç Karlılık Oranı Analizi,
- Duyarlılık Analizi.

4.5.1 Net bugünkü değer analizi

Bir yatırımın net bugünkü değeri (NBD); belli bir iskonto oranına göre indirgenmiş giderlerinin toplamı ile indirgenmiş net gelirleri ve hurdanın bugünkü değeri toplamı arasındaki fark olmaktadır (Sarıaslan, 1990).

NBD yönteminde; gelecekte, her bir dönemde meydana gelmesi beklenen nakit girişleri-nakit çıkışları farkı (net nakit akış tutarı) belirli bir iskonto oranıyla (faiz oranı ya da sermaye maliyeti oranı) bugüne indirgenip ve her dönemin indirgenmiş değerleri toplanarak projenin net bugünkü değeri hesaplanmaktadır.

İndirgenmiş toplam değeri (net bugünkü değeri) sıfırdan düşük olan projeler kabul edilmezken, net bugünkü değeri 0 olan projelerin seçilmesi ya da seçilmemesi mümkün olabilmektedir.

Net bugünkü değeri 0 olan projeler, istihdam yaratması ve atıl fonların kullanılmasını sağlaması bakımından tercih edilebilmektedir (Url-37).

Değeri 0'dan büyük olan projeler, net bugünkü değer yöntemine göre seçilebilecek projelerdir. Birden çok proje olması durumunda, net bugünkü değeri daha yüksek olan proje tercih edilmelidir. NBD, Denklem 4.7'deki gibi hesaplanır.

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{Bt}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1+r)^t} \quad (4.7)$$

Burada,

Bt : t yılındaki nakit girişi;

Ct : t yılındaki nakit çıkışı;

n : yıl (1,2,3,...,n)

r : iskonto oranı

temsil etmektedir.

4.5.2 Geri ödeme süresi analizi

Geri ödeme süresi, yatırımın kendisini finanse etmesi için gereken süreyi ifade etmektedir. Geri ödeme süresi, vergiden sonraki yıllık kar ile amortismanlar toplamının başlangıçtaki yatırım miktarına bölünerek elde edilmektedir. Bir yatırımın

çekiciliği, kolay ve anlaşılabilir şekilde ölçülmek isteniyorsa bunun için uygun ölçü, geri ödeme süresi olmaktadır.

Geri ödeme süresi bir zaman ölçüsüdür. Bu yöntemle göre kendisini en kısa zamanda ödeyecek yatırım, riski en az olan yatırım olarak nitelenmektedir. Bir başka deyişle, bu yöntem, yatırımın kendisini finanse edebilmesi için gerekli olan zamanı bulmaktadır (Sayılğan, 2008).

Geri ödeme süresi şu şekilde hesaplanmaktadır:

a) Yatırım projesinin yıllık net nakit girişleri her yıl için aynı ise, projenin geri ödeme süresi, yatırım tutarının yıllık net nakit girişlerine bölünmesi ile bulunabilir. Denklem 4.8'de geri ödeme süresi hesabı görülmektedir.

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{İlk Yatırım Maliyeti} + \text{İşletme Bakım Maliyeti (NBD)}}{\text{Yatırım Getirilerinin Toplam Değeri (NBD)}} \quad (4.8)$$

b) Yatırım projesinden sağlanacak net nakit girişleri yıllar itibariyle değişkenlik gösteriyorsa, net nakit girişleri ilk yıldan başlayarak proje maliyetine eşit olunan yıla kadar toplanmakta ve proje maliyetine eşit olduğu andaki yıl sayısı yatırımın geri ödeme süresi olarak kabul edilmektedir (Sayılğan, 2008).

4.5.3 Fayda maliyet analizi

Fayda-maliyet analizi, çeşitli yatırım alternatifleri arasında ekonomik açıdan getirisi en yüksek olanı tespit edebilmek için, yatırımların gerektirdiği tüm maliyetlerin ve sağlayacakları tüm faydaların parasal değerlerle ifade edilip sistematik olarak karşılaştırılması ve aralarından en uygun olanın tercih edilmesi olarak tanımlanabilir (Işık, 2005).

Fayda-maliyet analizi farklı yatırım projelerinin ekonomik açıdan karşılaştırılmasına olanak sağlayan analiz tekniklerinden biridir. Bu analiz tekniğinde, yatırımın ömrü boyunca yapılacak harcamalar ve elde edilecek faydalar günümüz değerine indirgenmekte ve maliyet, fayda oranı hesaplanmaktadır. Böylelikle, bugüne indirgenmiş değerleri ile faydalar ve maliyetler parasal anlamda karşılaştırılabilir hale gelmektedir.

Karar verme tekniği açısından önemli bir araç olmasına karşın fayda-maliyet analizlerinin taşıdığı bazı olumsuzluklar da mevcuttur. Örneğin tüm faydaları ve tüm maliyetleri parasal olarak ifade edebilmek her zaman olanaklı olmayabilir. Özellikle

enerji yatırımlarında sosyal fayda ve maliyet göz önünde bulundurulmalıdır. İster kamu sektörü içine dahil olsun, isterse özel sektöre, tüm yatırım projeleri bir takım fayda ve maliyetler doğurur. Ortak bir birim cinsinden ifade edilen faydalar, maliyetleri aştığı sürece de projenin uygulanabilir nitelikte olduğu kabul edilmektedir (Işık, 2005). Fayda-maliyet oranı Denklem 4.9'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Fayda} - \text{Maliyet Oranı} = \frac{\text{Gelecekteki Net Nakit Akışların Bugünkü Değeri}}{\text{Toplam Maliyetlerin Bugünkü Değeri}} \quad (4.9)$$

Fayda-maliyet oranının 1'den büyük olması yatırım projesinin parasal değer açısından karlı olduğunu gösterirken, 1'den küçük olması projeden parasal değer olarak zarar edileceğini ifade etmektedir.

4.5.4 İç karlılık oranı analizi

İç karlılık oranı (internal rate of return-IRR); projenin gelecekte sağlayacağı dönemsel net nakit akışlarının bugünkü değerleri toplamını, söz konusu projenin yatırım tutarının bugünkü değerine eşitleyen iskonto oranı olmaktadır (Sayılğan, 2008). İç getiri oranı, projeleri karşılaştırmak için kullanılan bir oran olup, Denklem 4.10'daki gibi hesaplanmaktadır. Birden çok proje içerisinde, iç getiri oranı en yüksek olan proje seçilmektedir. Bir projenin iç getiri oranının yüksek olması, o projenin sağladığı nakit akımlarını bugünkü değerini sıfıra eşitlemek için daha yüksek bir iskonto oranı kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bir projenin nakit akımlarının büyük olması o projenin yapılabilirliğini artırmaktadır (Sayılğan, 2008).

$$\text{İç Karlılık Oranı} = \left\{ \sum_{t=0}^n \frac{Bt}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1+r)^t} \right\} \quad (4.10)$$

Denklem 10 ile "r" iskonto oranı iterasyon ve/veya deneme yanılma metodu ile bulunabilir. Net bugünkü değeri sıfır yapan değer bulunmaya çalışılır. Bunun için önce tahmini bir "r" iskonto oranı alınır ve formülde yerine konularak sıfıra eşitlenmeye çalışılır. Bulunan "r" iskonto oranı pozitif ise, "r" değeri arttırılarak denemeye devam edilir. Eğer değer negatif çıkarsa o zaman "r" iskonto oranı azaltılmalıdır. Sonuç olarak NBD = 0 oluncaya kadar denemeye devam edilmelidir.

Bulunan pozitif değer veren "r" iskonto oranı ile pozitif değeri ve negatif değer veren "r" iskonto oranı ile negatif değeri arasında enterpolasyon yapılarak da, gerçek "r" iskonto oranı bulunabilir.

4.5.5 Duyarlılık ve risk analizi

Bir yatırım projesine ait parametrelerdeki değişkenliğin sonuçlara etkisi duyarlılık analizi ile belirlenmektedir. Duyarlılık analizi ile bir yatırım projesine ait parametrelerin, proje nakit akışlarını ve projenin beklenen getirisini hangi yönde ve hangi ölçüde etkileyeceği ve yatırım projesinin risklere karşı ne kadar duyarlı olduğu incelenmeye çalışılmaktadır (Kheirollahi ve Tofigh, 2015).

Duyarlılık analizi, bir yatırım projesi ile ilgili değişkenlerin değişebilirliğini belirlemede kullanılan bir yöntemdir. (Şahin, 1997). Bu yöntem, projelerin sıralanması için herhangi bir koşul oluşturmamaktadır. Duyarlılık analizi, projenin net bugünkü değerini (NBD) oluşturan temel değişkenlerdeki değişikliğe bağlı olarak, NBD' nin ne ölçüde değiştiiğini ölçmeye yarayan bir risk analiz tekniği olarak kabul edilebilir. Bu bağlamda Duyarlılık Analizi, proje verimliliğindeki potansiyel riskin belirlenmesi ve tahmin edilmesinde kullanılan bir tekniktir. Risk değerini bulmaktan çok, değişkenlerin NBD üzerindeki etkilerinin tahmini için kullanılmaktadır. Eğer net bugünkü değer bu değişmelere duyarlılık gösteriyorsa, projenin riskli olduğu yorumlanabilir (Url-38).

Enerji yatırımlarında finansal ve ekonomik riskleri tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmasa da azaltılabilir. Riskleri kabul edilebilir düzeye indirgemek risk yönetimi ile mümkündür. Risk yönetimi, risk analizi ve risk değerlendirme, gerekli önlemlerin önceden alınarak tehlikenin ortadan kaldırılabilmesi için yapılmaktadır. Çünkü riski önlemek, bedelini ödemekten ucuzdur.

Duyarlılık Analizi, projedeki temel değişkenlerin net bugünkü değer, iskonto oranı gibi değerleme ölçütlerine olabilecek etkilerini göstermektedir. Duyarlılık Analizinde söz konusu bu etkilerin ortaya konmasında belirli ve net bir yöntem bulunmamaktadır. Analizde, hangi değişken daha çok değişmelere yol açıyorsa o değişken kritik değişken olarak kabul edilmektedir. Bu durumda, kritik değişken, projenin duyarlı olduğu en önemli değişken olmaktadır (Sayılğan, 2008).

4.6 Mali Durum Değerlendirmesi

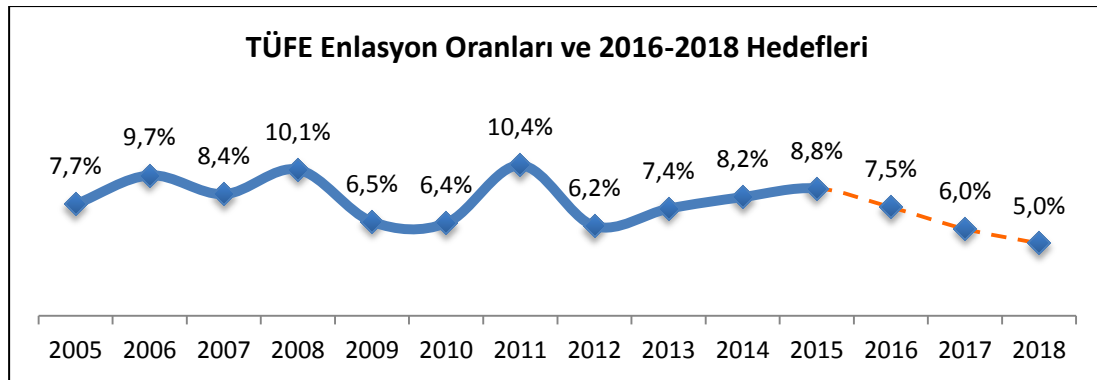
Enerji yatırımlarında mali analiz, projeleri etkileyecek parametrelerin tahmini ve proje sonuçlarının değerlendirilmesinden oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasının 4.7 bölümünde uluslararası enerji danışmanlık şirketinden alınan güncel veriler ile 30 MW'lık rüzgar enerjisi projesinin ekonomik analizi yapılacaktır. Ekonomik analiz öncesi projeyi mali açıdan etkileyen parametrelerden bahsedilecektir.

4.6.1 Enflasyon oranı

Bir ekonominin istikrarlı olup olmadığının en önemli göstergelerinden biri de fiyatlar genel düzeyidir. Bir başka ifadeyle enflasyon oranlarıdır. Kısaca, enflasyon, fiyatlar genel düzeyindeki artış hızını ifade etmektedir. Fiyatlardaki istikrarsızlık ekonomik anlamda geleceğe yönelik belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Enflasyonun yüksek olması durumunda ulusal para, sürekli değer kaybettiği için borçlanma piyasalarında artan faiz oranları kredi talep edenler açısından caydırıcı niteliğe sahip olmaktadır. Bu durumda yatırımlar sekteye uğramakta ülke ekonomisi bu süreçten olumsuz etkilenmektedir (Eğilmez, 2004).

Ülkemizde yapılan proje analizlerinin en zorlu kısımlarından birini enflasyon oranının tahmini oluşturmaktadır. Uzun yıllar ülkemizde çok yüksek seviyelerde seyreden enflasyon, son yıllarda dalgalı bir trend izlemektedir. Şekil 4.7'de bu trend gösterilmiştir. Analizi yapılan projede enflasyon oranı olarak Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın hedef enflasyonu olan %5 olarak alınmıştır (Url-39).



Şekil 4.7 : Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası TÜFE Enflasyon Oranları ve Hedefleri.

4.6.2 İskonto oranı

İskonto oranı, yatırımı yapan kişi veya kurumun yatırımdan elde etmeyi beklediği minimum karlılık oranı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifadeyle, iskonto oranı, yatırımdan beklenen verim oranını göstermektedir.

İskonto oranının seçilmesinde üç farklı yaklaşım izlenebilir.

1. Yaklaşım: Yatırım proje finansmanının yalnız öz kaynaklardan sağlanması durumunda, kullanılacak kaynakların sermaye maliyeti (iskonto oranı), bu kaynakların alternatif yatırım alanlarından vazgeçilmesinin yaratacağı fırsat maliyetidir. Fırsat maliyetinin en iyi göstergesi, finansal piyasalarda oluşan faiz oranı olmaktadır (Sarıaslan, 1994).

Finansal piyasalarda faiz oranları, vade yapısı, yatırımların geri ödeme riski, uygulanan vergi oranı gibi piyasa koşullarına bağlıdır (EIB, 2013).

2. Yaklaşım: Yatırım proje finansmanının yalnız yabancı kaynaklardan sağlanması durumunda, sağlanan kredinin iskonto oranı, Merkez Bankasının uzun dönemli borçlar için uyguladığı faiz oranları olmaktadır.

3. Yaklaşım: Yatırım proje finansmanının öz kaynaklardan ve yabancı kaynaklardan eşit veya farklı oranlarda sağlanması durumunda öz kaynak ve yabancı kaynak sermaye maliyetinin ağırlıklı ortalamasına göre iskonto oranı belirlenmektedir.

4.6.3 Proje finansmanı

Bir projenin yeni baştan inşa edilerek yapılması veya mevcut bir projenin geliştirilmesi için gerekli, yeterli ve uygun koşullarda kaynak sağlanması, proje finansmanı olarak tanımlanabilir. Proje finansmanı, büyük miktarda sermaye yoğun yatırımların hayata geçirilebilmesi için kullanılan bir finansman yoludur (Yescombe, 2002).

Dünyada ve buna paralel olarak ülkemizde son yıllarda artan çevre bilinci yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Özellikle rüzgâr enerjisi çok ilgi çekmektedir. Ülkemizde projelerin en zorlu aşamasını finansman aşaması oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santraller için resmi kurumlara yapılan başvurular neticesinde ülkemizde şu anda birçok yatırımcı şirket finansman aşamasına gelmiş bulunmaktadır.

Rüzgâr enerjisi yatırımı finansman yöntemleri, öz kaynak finansmanı ve borç finansmanı olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirilebilir (IRENA, 2014).

Öz kaynak finansmanı

Kuruluş aşamasında işletmeyi faaliyete geçiren girişimci ya da ortaklar tarafından kendi öz varlıklarından işletmeye tahsis ettikleri maddi ve maddi olmayan ekonomik değerlere o işletmenin öz sermayesi denmektedir (İmre, 2001).

Bir işletmenin sahip veya sahiplerinin gerek kuruluş aşamasında, gerekse daha sonra sermaye artırımı yoluyla, ya da kardan dağıtmayarak şirkete fon tahsis etmelerine öz kaynaklarla finansman denmektedir (Sarıaltın, 2011).

Öz kaynak finansmanının riski yüksektir ve iflas veya faaliyetlere son verilmesi durumunda kaynaklar arasında ödeme sırasına göre en son kullanılacak kaynaktır. Bir firmaya, bir projeye öz kaynak sağlayanlar yüksek kar beklentisi içindedirler. Ortaklar projenin operasyonel riskini sermaye katkıları oranında paylaşmaktadırlar. Yatırımlar henüz proje aşamasındayken ve borçlanma seçeneğinin sınırlı olduğu dönemlerde öz kaynak finansmanı yeterli olabilmektedir. Ancak, projenin ilerleyen aşamalarında, daha büyük tutarlı kaynak gereksinimi olduğu dönemlerde, öz kaynak yöntemi yetersiz kalmaktadır ve borçlanma gereksinimi duyulmaktadır. Ekonomik ve hukuki açıdan işletmenin riskini taşıyan öz sermaye, borçlanmadan çalışıldığı düşünülürse; toplam varlıklara eşit olmaktadır (Sarıaltın, 2011).

Borç finansmanı

Yabancı kaynak sermayesi de denilen dış kaynaklar ile belirli bir faiz karşılığında işletmenin dışındaki kişi, kurum ve kuruluşlardan sağlanan finansman kaynağıdır. Bu sermaye, banka ve diğer finansal kuruluşlardan kredi şeklinde sağlanıyor olmaktadır. Yabancı kaynaklarla sağlanan fonlar, ödeme süresine göre kısa vadeli borç finansmanı ve uzun vadeli borç finansmanı olmak üzere iki alt kategoride değerlendirilmektedir (Sarıaltın, 2011).

Kısa Vadeli Borç Finansmanı: İşletmelerin en fazla bir yıl içinde geri ödemeleri gereken dış finansman kaynaklarına kısa vadeli yabancı kaynaklar denmektedir. Genel kural olarak bu kaynaklar, işletmelerin kısa vadeli varlıklarının finansmanında kullanılmaktadır. Çalışma sermayesinin özellikle sabitlik özelliği göstermeyen kısmının finansmanında kısa vadeli dış kaynakların kullanımı, işletmenin riskini artırmaması açısından önemlidir. İş hacmindeki dalgalanmaların gerektirdiği fon

ihtiyacının kısa vadeli dış kaynaklarla giderilmesi sık karşılaşılan bir durumdur. Kısa vadeli dış kaynaklar genellikle çalışma sermayesinin finansmanı için kullanılmakla birlikte, zaman zaman bu kaynakların duran varlıkların finansmanı için de kullanıldığı görülmektedir. Kısa vadeli yabancı kaynakların, duran varlıkların finansmanında kullanılması, işletmeler açısından risk artıran bir durumdur (Kaya, 2003).

Uzun Vadeli Borç Finansmanı: Uzun vadeli borç finansmanı, geri ödeme süresi bir yıldan daha uzun süreli yabancı kaynaklar olup, ödeme süresi, orta ve uzun vadede, 2, 5, 10, 15 ve 20 yıl gibi süreler olabilmektedir (Kaya, 2003). Daha çok duran varlıkların (sabit sermayenin) ya da devamlılık arz eden faaliyetlerin finansmanında kullanılan uzun vadeli dış kaynaklar en çok aşağıda belirtilen mekanizmalarla sağlanmaktadır.

- Banka ve diğer finansal kuruluşlardan sağlanan orta ve uzun vadeli
- Banka kredileri
- Tahvil ihracı
- Finansal kiralama (leasing)

Analizi yapılacak projenin %50 öz sermaye, %50 borç finansmanı ile hayata geçirileceği öngörülmüştür.

4.6.4 Proje yatırım maliyeti

Proje yatırım maliyeti dört ana kısımda incelenmiştir. Bunlar; planlama ve proje geliştirme, rüzgar türbini tedarik ve nakliye, elektrik ve mekanik teçhizat ve montaj maliyeti ile rüzgar enerjisi santralının inşaat maliyeti olarak sıralanabilir.

Planlama ve proje geliştirme maliyeti; yatırıma başlamadan önce ve yatırımın başlangıç döneminde yapılan proje etüt, teknik danışmanlık ve mühendislik hizmetleri, proje yönetim giderleri, teknik rapor hazırlama gibi harcamaları kapsamaktadır.

Rüzgar türbini tedarik ve nakliye maliyeti; rüzgar türbininin tedarik edilmesi ve proje sahasına nakliye sürecinde oluşan harcamaları içermektedir. Elektrik ve mekanik teçhizat ve montaj maliyeti; transformatör, scada sistemi, yedek parçalar, gerilim kabloları, enerji nakil hattı maliyeti ve montaj masrafları olarak sıralanabilir.

İnşaat maliyeti; ulaşım yolunun onarımı, her bir türbinin kurulacağı yere taşınması için türbinler arasındaki servis yolları maliyeti, türbin temellerinin yapım maliyeti, kablo ve kanal maliyeti, alt saha yapımı gibi harcamaları içermektedir.

Projenin yatırım maliyeti çizelge 4.2’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : 30 MW’lık Rüzgar Santrali Yatırım Maliyeti.

Maliyet Kalemleri	Birim Bedel (€)	Toplam Bedel (€)	Referans Fiyat (€)
Proje Geliştirme	€ 150.000	€ 150.000	125.000–275.000 €/proje
Rüzgar Türbini Tedarik ve Nakliye			
Türbin Maliyeti	€ 1.900.000	€ 22.800.000	1,900,000 €/türbin
Nakliye&Enstrümantasyon	€ 170.000	€ 2.040.000	0.15 - 0.22 M€/türbin
Elektrik Altyapı Maliyeti			
Transformatör ve Kablolama	€ 124.000	€ 1.488.000	0.12-0.170 M€/türbin
Şalt Sahası	€ 400.000	€ 400.000	Sabit Fiyat
Santral Elektrik İşleri	€ 25.000	€ 375.000	0.025 M€/MW
SCADA Sistemi	€ 200.000	€ 200.000	Sabit Fiyat
İnşaat İşleri	€ 1.800.000	€ 1.800.000	1.7-2.4 M€/proje
Enerji Nakil Hattı	€ 20.000	€ 300.000	0.02-0.04 M€/km
Mühendislik, Tedarik ve İnşaat İşleri Toplam Maliyet		€ 29.553.000	
Mühendislik ve Saha Hizmetleri			
3. Taraf Gözetim ve Kontrol	€ 350.000	€ 350.000	0.35 - 0.45 M€/Proje
Proje Yönetimi	€ 440.000	€ 435.000	0.435 - 0.45 M€/Proje
İş Güvenliği, Kalibrasyon ve Denetim	€ 100.000	€ 100.000	0.1 M€/Proje
Arazi Kamulaştırma, Sigorta ve Diğer Maliyetler	€ 1.000.000	€ 1.000.000	1-1.25 M€/Proje
Proje Yatırım Maliyeti		€ 31.438.000	
Projede Beklenmeyen Durum Maliyeti (%1)	€ 314.380	€ 314.380	
Toplam Proje Yatırım Maliyeti		€ 31.752.380	
Yatırım Maliyeti/MW		€ 1.058.412	1.05 - 1.3 M€/MW

4.6.5 Proje işletme-bakım maliyeti

Rüzgar enerji santrallerinde üretim yapabilmek için kaynak olarak gereken tek unsur “rüzgar”dır. Nükleer santraller veya termik santrallerden farklı olarak üretim için gereken kaynağı stoklamak, istenildiği ölçüde kullanmak gibi bir durum söz konusu değildir. Dolayısıyla mevcut olan kaynağı, bu kaynak var olduğu sürece en etkin şekilde kullanmamız gerekir. Bunu sağlamanın tek yolu da tesisin “emre amadeliği”nin maksimum olmasıdır. Emre amadelikten anlaşılması gereken “tesisin sürekli olarak üretim yapmaya hazır durumda bulunması”dır. Rüzgar enerjisi santralinde emre amadeliğin maksimum olması planlı bir işletme ve bakım projeksiyonu ile mümkün olabilmektedir.

Proje kapsamında işletme ve bakım maliyeti, santralin ekonomik ömrü boyunca, alanında uzman firmalar tarafından karşılanacaktır. İşletme ve bakım maliyetlerinin sabit ve değişken kısımları bu tez çalışmasının ekinde Ek: A içinde detaylı bir şekilde belirtilmiştir.

4.6.6 Proje gelirleri

Proje gelirlerini; enerji satış geliri ile karbon sertifikası gelirleri oluşturmaktadır.

Enerji Satış Geliri: Projede üretilen elektriğin 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında 7,3\$ cent/kWh'lik teşvikli sabit fiyat uygulaması ile değerlendirilmesinin ekonomik açıdan uygun olduğu düşünülmüştür. İlgili kanunda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için verilen teşvik işletmeye giriş tarihinden itibaren 10 yıl verilmekte olup yapılan bu analiz kapsamında alım garantili teşviğin 20 yıl verileceği varsayılmıştır. 7,3 \$ cent/kWh'lik sabit fiyat teşviğine ek olarak tedarik edilen türbinlerde kullanılan kulenin yerli üretim olması dolayısıyla sabit alım fiyatının ilk 5 yıl için 7,9 \$ cent/kWh olarak uygulanacaktır (Url-13).

Karbon Satış Geliri: Ülkemizin Kyoto Protokolü kapsamındaki taahhüt vermeyen yapısı sebebiyle yenilenebilir enerji santrallerimizin yapmış olduğu emisyon azaltım birimleri Gönüllü Karbon Pazarı adı verilen tezgah üstü piyasalarda (OTC) işlem görmektedir.

Gönüllü pazarda ise şirket, birey ya da organizasyonlar, saldıkları karbonun karşılığı olan parayı, diğer ülkelerdeki çevreci projeleri finanse etmekte kullanmaktadırlar.

Gönüllü pazar, Kyoto Protokolü mekanizmalarından bağımsız ve sosyal sorumluluk çerçevesinde çalışmaktadır. Bu piyasada zorunlu bir belirleyici kural yoktur. Gönüllü piyasadan, teorik olarak, bireyler bile alım yapabilmektedir. 2009 başında Kyoto Protokolü'nü imzalayan Türkiye de, gönüllü karbon pazarında yer almaktadır (Hatipoğlu, 2010).

Türkiye için sera gazı emisyon faktörü $6,65 \times 10^{-4}$ tCO₂/kWh'tir. Diğer bir deyişle Türkiye'deki enerji üretimi perspektifi dikkate alındığında, kömür, doğalgaz, hidro, rüzgâr, vb. üretilen her kWh için atmosfere $6,65 \times 10^{-4}$ tCO₂ salımı yapılmaktadır. Rüzgâr türbini ile enerji üretildiğinde atmosfere kWh başına $6,65 \times 10^{-4}$ tCO₂ gazının salımı engellenmiş olmaktadır (Hatipoğlu, 2010).

Proje kapsamında karbon gelirinin 5,5 €/tCO₂ olacağı varsayılmıştır.

4.7 Ekonomik Analiz Sonuçları

Bu Yüksek Lisans tezinde, (uluslararası bir danışmanlık firmasından alınan güncel veriler ile) 30 MW'lık rüzgar santralinin ekonomik analizi yapılacaktır. Ekonomik analiz için Matlab ve Excel programları kullanılmıştır (Url-40).

Ekonomik analizde yapılan kabuller aşağıdaki gibidir.

- Kapasite faktörü: Optimistik senaryo için %40, realistik senaryo için %35, pesimistik senaryo için %30 ve pesimistik ötesi senaryo için %25 alınacaktır.
- İskonto oranı (Faiz oranı) : %5 olarak alınacaktır.
- Ekonomik ömür: 20 yıl
- Sermaye maliyetine %1 belirsizlik eklenmiştir.
- Amortisman süresi 20 yıl olup, doğrusal amortisman modeli ile değerlendirme yapılacaktır.
- Elektrik satış fiyatı: İlk 5 yıl için 7,9 \$ cent/kWh, 5-20 yıl için 7,3 \$ cent/kWh olarak belirlenmiştir.
- €/ \$ paritesi 1,10 alınmıştır.
- Finansman: Yatırımın finansmanı için 2 farklı model incelenecektir.

- İlk modelde yatırımın %50 öz kaynak %50 borç finansmanı ile hayata geçirileceği öngörülecek ve kredi ödemesine 1. yılsonunda başlanacak olup 10 yılda kredi ödemesi tamamlanacaktır.
- İkinci modelde ise yatırımın %100 öz sermaye ile tamamlanacağı öngörülmüştür.
- İlk model için borçlanma faizi %5 olarak öngörülmüştür.
- Proje kapsamında üretilen elektriğin engel olduğu yıllık CO₂ emisyon miktarı gönüllü karbon pazarında 5,5 €/tCO₂ olarak değerlendirilecektir.

4.7.1 Borç finansman maliyeti

Proje için yapılan nakit akış hesaplamalarında, yatırımın bir yılda tamamlanabileceği ve bu bir yıllık dönem boyunca kredi ödemesinin yapılmayıp, rüzgar enerji santralının devreye alınıp enerji satışı yapılmaya başlandığı yıl itibariyle kredi ödemelerine başlanacağı öngörülmüştür.

İlk modelde proje yatırım bedelinin %50 öz sermaye ve %50 borç finansmanı ile sağlanacağı öngörülmüştür. Bu durumda, toplam proje yatırım bedeli olan 31.752.380€'nun % 50'i banka kredisi olarak alınmıştır.

Herhangi bir yılsonu için toplam kredi borcu bileşik faiz hesabı, Denklem 4.11'de belirtilmiştir.

$$S_n = P_f (1 + i)^n \quad (4.11)$$

Burada; S_n , t yıl sonraki borcu; P_f , faize tabi anaparayı; i , faiz oranını ve n , yılı ifade etmektedir.

Rüzgar santralının işletmeye girmesiyle beraber oluşan kredi borcu, eşit taksitler halinde ödenecek olup ilk modelde 10. yılsonu itibariyle tamamlanacaktır.

Yıllık sabit kredi taksit tutarı Denklem 4.12'de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$A_y = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4.12)$$

Burada; A_y , yıllık sabit taksit tutarı; P , taksitlendirmeye tabi toplam kredi borcu; n , geri ödemenin yıl olarak süresini ifade etmektedir.

Buna göre ilk model için rüzgar santrali projesinin yıllık sabit kredi taksiti miktarı;

$$A_y = 15.876.190 \text{ €} \left[\frac{0,05(1+0,05)^{10}}{(1+0,05)^{10}-1} \right] = 2.056.049 \text{ €} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

4.7.2 Üretilen elektriğin maliyeti

Rüzgar enerjisi maliyeti için yaygın olarak kullanılan üç farklı yöntemden bahsetmek mümkündür. Bunlar; rüzgar türbininin tasarım gücüne göre maliyet, birim rotor alanına göre birim maliyet, üretilen kWh başına maliyettir(IRENA, 2014).

Türbin Gücüne Göre Maliyet: C_T türbin maliyeti, P_R türbinin tasarım gücü olmak üzere, kW başına düşen maliyet C_{PR} (\$/kW), Denklem 4.13 ile hesaplanabilir.

$$C_{PR} = \frac{C_T}{P_R} \quad (4.13)$$

Projede 12 adet 2,5 MW'lık rüzgar türbinleri kullanılacaktır. Kullanılacak olan rüzgar türbinlerine ait detaylar Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Projede kullanılacak olan rüzgar türbin detayları.

Türbin Markası	Proje Kurulu Gücü	Toplam Yatırım Maliyeti
Nordex N100 2,5 MW	30 MW	31.752.380 €

$$C_{PR} = 31.752.380 \text{ €} / 30.000 \text{ kW}$$

$$C_{PR} = 1058 \text{ €} / \text{ kW}$$

Hesaplanan birim kW başına maliyet, piyasadaki sistemlerde kıyaslama yapmak için oldukça kullanışlı bir yöntem olmasına karşın, çoğu zaman yanlış yönlendirmelere sebep olabilmektedir. Türbin maliyetleri (C_T) çoğu zaman farklı telaffuz edilmektedir. Bazı üreticiler, türbinin bütün parçalarını ve ekipmanlarını fiyata dahil ederken, bazıları ek maliyet olarak fiyata yansıtmaktadır.

Birim Rotor Alana Göre Maliyet: C_a birim alan başına düşen maliyet, C_T birim türbin yatırım maliyeti, A türbinin rotor alanı olmak üzere, m^2 başına düşen maliyet C_a ($\text{€}/m^2$), Denklem 4.14 ile hesaplanabilir.

$$C_a = \frac{C_T}{A} \quad (4.14)$$

$$C_a = 1.058.412\text{€} / 7.854 \text{ m}^2$$

$$C_a = 135\text{€}/m^2$$

Denklem 14'de yalnızca rotor boyutlarının maliyetteki etkisi dikkate alınmaktadır. C_a ; değişik tip, boyut ve rüzgâr hızına sahip rüzgâr türbinlerin karşılaştırılması için kullanılmaktadır.

Üretilen Birim kWh Başına Maliyet: Rüzgâr enerjisi santralinden üretilen elektriğin kWh maliyeti en genel karşılaştırma yöntemidir. Birim kWh başına maliyet daha iyi bir ekonomik göstergedir. Rüzgâr kaynaklı elektrik üretiminde maliyetin belirlenmesinde rüzgâr rejiminin karakteristiği diğer bir deyişle kapasite faktörü kritik parametre durumundadır.

Birim enerji maliyetinin hesaplanması için yıllara göre yayılmış olan işletme giderlerinin, Denklem 4.15'de verilmiş olan şimdiki değer metoduyla bugünkü değerleri hesaplanmış ve rüzgâr enerjisi santralının ekonomik ömrü boyunca üretilen enerjiye oranlanmasıyla kWh başına birim maliyet bulunmuştur.

$$C_{OPW} = \sum_{t=0}^n C_t (1 + i)^{-t} \quad (4.15)$$

Burada; C_{OPW} , yıllık sabit taksit tutarı; C_t , yıllara göre işletme maliyetini; n , rüzgâr enerjisi santralının ekonomik ömrünü; t , geçerli işletme yılını; i , faiz oranını ifade etmektedir.

Denklem 15'ten işletme masraflarının şimdiki değerlerinin toplamı 31.235.004 € olarak bulunmuştur. Rüzgâr enerjisi santralının ekonomik ömrü boyunca üretilen enerji ise, Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : Farklı senaryolara göre ekonomik ömrü boyunca enerji üretim değerleri.

Senaryo	Kurulu Güç (MW)	Kapasite Faktörü	Ekonomik Ömür (yıl)	Toplam Enerji Üretimi (kWh)
Optimistik	30	40%	20	2.102.400.000
Realistik	30	35%	20	1.839.600.000
Pesimistik	30	30%	20	1.576.800.000
Pesimistik Ötesi	30	25%	20	1.314.000.000

Bulunan bu değerlerden birim enerji üretim maliyeti;

$$\text{Optimistik senaryo için} : \frac{31.752.380 \text{ €}}{2.102.400.000 \text{ kWh}} = 0,0151 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Realistik senaryo için} : \frac{31.752.380 \text{ €}}{1.839.600.000 \text{ kWh}} = 0,0173 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Pesimistik senaryo için} : \frac{31.752.380 \text{ €}}{1.576.800.000 \text{ kWh}} = 0,0201 \text{ €/kWh}$$

$$\text{Pesimistik ötesi senaryo için} : \frac{31.752.380 \text{ €}}{1.314000.000 \text{ kWh}} = 0,0242 \text{ €/kWh}$$

olarak hesaplanmıştır.

4.7.3 Projenin net bugünkü değeri

Bir yatırımın net bugünkü değeri (NBD), yatırımdan beklenen net nakit girişlerinin belli bir iskonto oranıyla indirgenmiş değerleri toplamından, yatırım harcamalarının bugünkü değerleri toplamının çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Eğer bu yöntemle göre, net bugünkü değer pozitif (NBD>0) ise yatırım yapılabilir niteliktedir. NBD negatif ise yatırım yapılmaz nitelik taşımaktadır.

Rüzgar enerjisi santralinde elektrik satışından ve karbon gelirinden elde edilecek faydadan ilk yatırım maliyeti ve işletme ve bakım masraflarının toplam değeri çıkarılarak net şimdiki değer bulunmaktadır.

Bölüm 4.5.1'deki Denklem 4.7 kullanılarak optimistik, realistik ve pesimistik senaryolar için finansman modeline göre bulunan net bugünkü değerler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

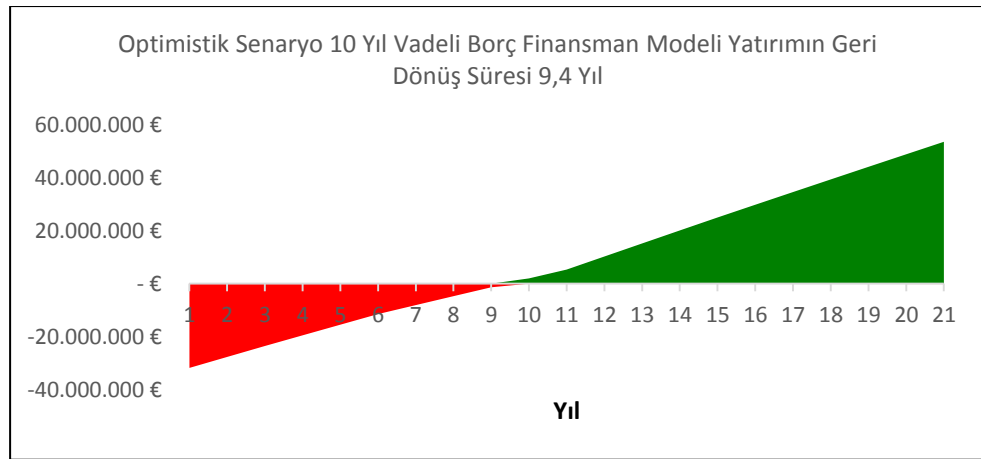
Çizelge 4.5 : Farklı senaryo ve finansman modellerine göre projenin net bugünkü değeri.

Senaryo	10 Yıl Vadeli Net Bugünkü Değer	Öz Sermaye Net Bugünkü Değer
Optimistik	€ 20.110.957	€ 32.811.909
Realistik	€ 10.689.750	€ 23.390.702
Pesimistik	€ 1.268.544	€ 13.969.496
Pesimistik Ötesi	-€ 8.152.662	€ 4.548.290

4.7.4 Yatırımın geri dönüş süresi analizi

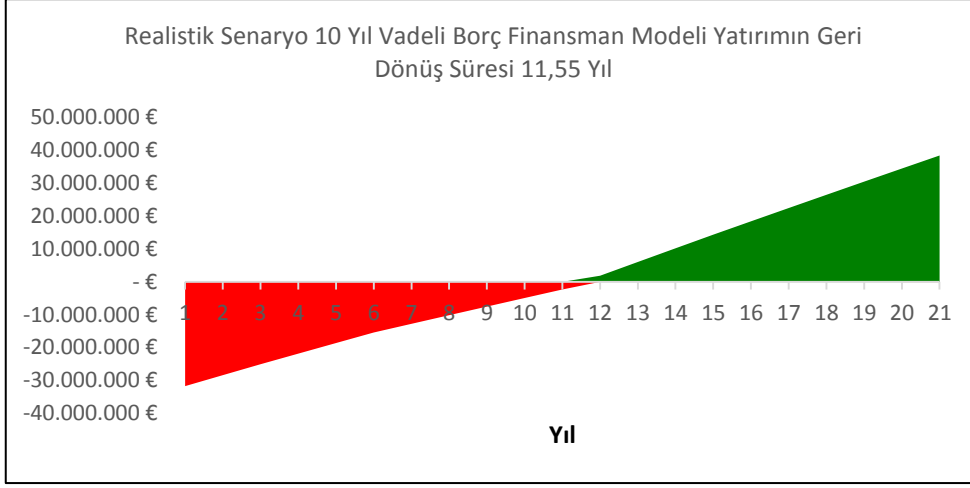
Geri ödeme süresi analizi, bir yatırımın sağlayacağı net nakit girişlerinin, yatırım tutarını karşılayabilmesi için gerekli sürenin hesaplanmasıdır. Geri ödeme süresi yöntemi, yatırım projelerinin değerlendirilmesinde ekonomik analiz yöntemleri içerisinde en çok kullanılan yöntemlerden biri durumundadır. Geri ödeme süresi kısaldıkça, yatırımın daha az riskli olacağı ve likiditesinin artacağı düşünülür. Ancak, geri ödeme süresi bir zaman kavramıdır, karlılık ölçüsü değildir. Bu yöntemde karlılık ölçülmez, yatırımın kendini ne kadar hızlı geri ödeyebileceği gösterilmiş olur (Müftüoğlu, 1999).

Bölüm 4.5.2'deki Denklem 4.8 kullanılarak optimistik senaryo için 10 yıl vadeli borç finansman modeline göre yatırımın geri dönüş süresi analizi, Şekil 4.8'de görülmektedir.



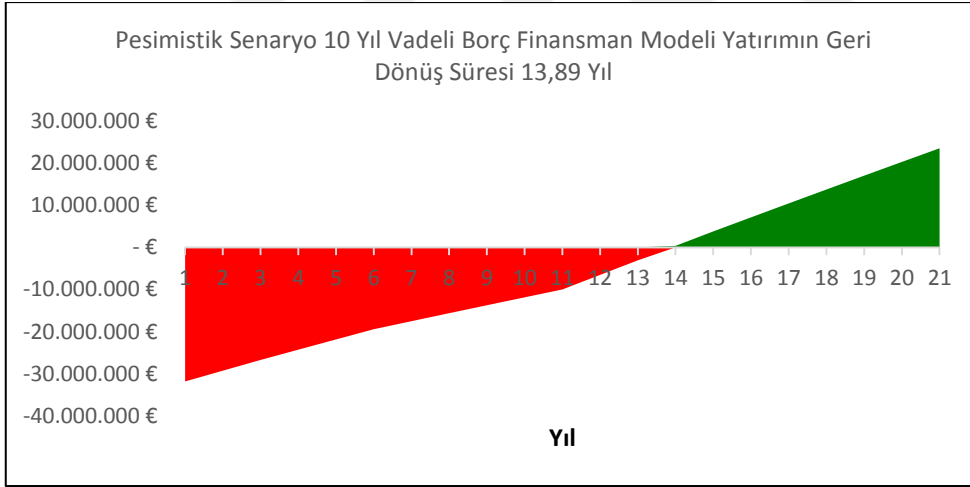
Şekil 4.8 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, optimistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.

Bölüm 4.5.2'deki Denklem 4.8 kullanılarak realistik senaryo için 10 yıl vadeli borç finansman modeline göre yatırımın geri dönüş süresi analizi sırasıyla, Şekil 4.9'da görülmektedir.



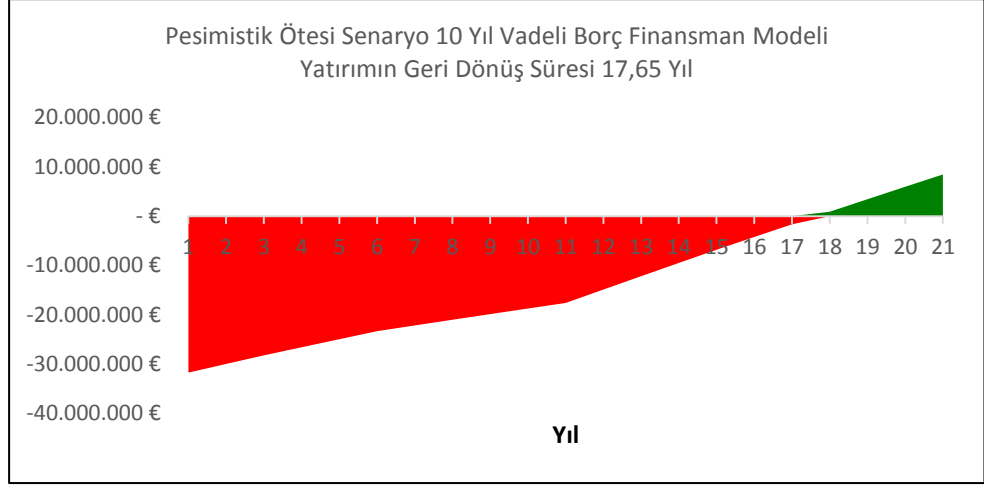
Şekil 4.9 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, realistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.

Bölüm 4.5.2'deki Denklem 4.8 kullanılarak pesimistik senaryo için 10 yıl vadeli finansman modeline göre yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.10'da görülmektedir.



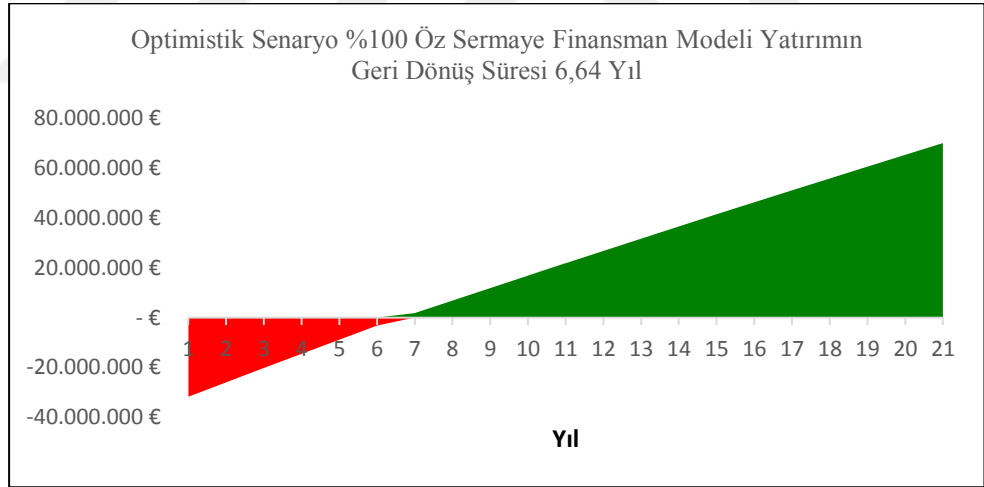
Şekil 4.10 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, pesimistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.

Bölüm 4.5.2'deki Denklem 4.8 kullanılarak pesimistik ötesi senaryo için 10 yıl vadeli finansman modeline göre yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.11'de görülmektedir.



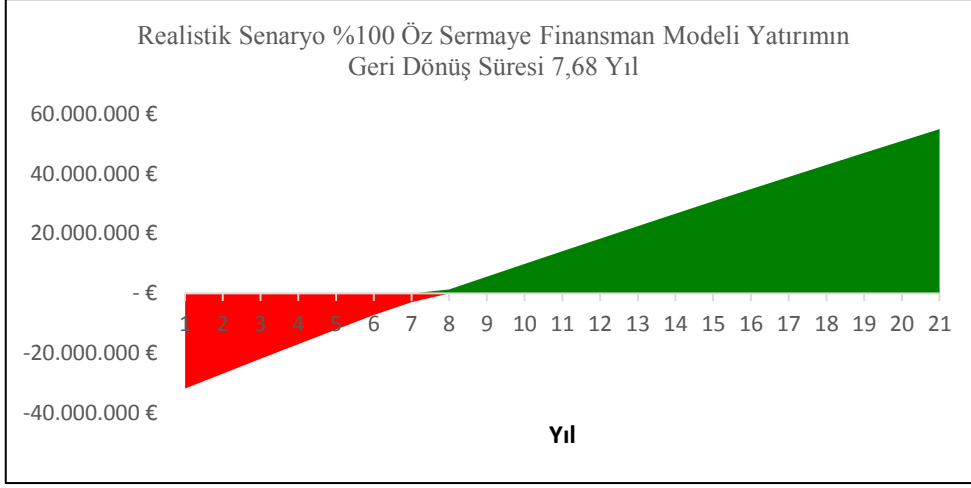
Şekil 4.11 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, pesimistik ötesi senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.

Bölüm 4.5.2'deki Denklem 4.8 kullanılarak optimistik senaryo için % 100 öz sermayeli borç finansman modeline göre yatırımın geri dönüş süresi analizi sırasıyla, Şekil 4.12'de görülmektedir.



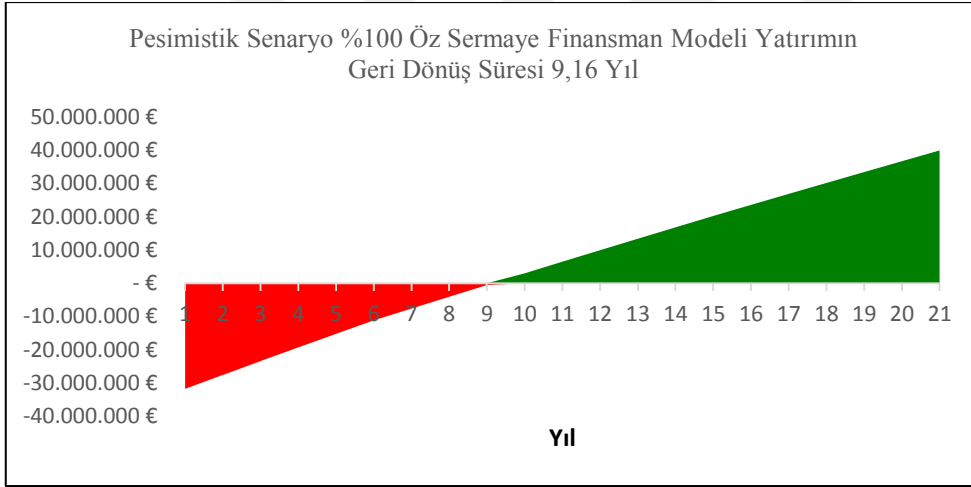
Şekil 4.12 : %100 öz sermayeli finansmanı, optimistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.

Bölüm 4.5.2'deki Denklem 4.8 kullanılarak realistik senaryo için % 100 öz sermayeli borç finansman modeline göre yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.13'de görülmektedir.

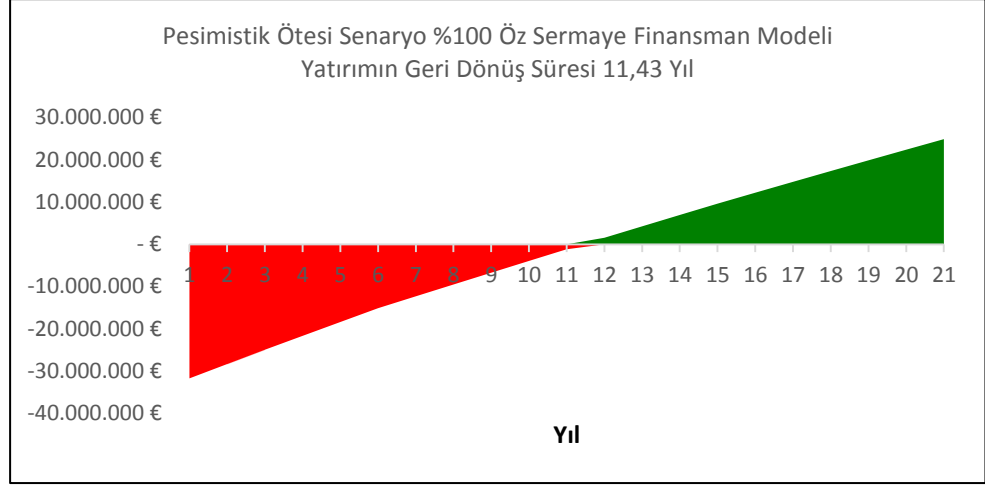


Şekil 4.13 : %100 öz sermayeli finansmanı, realistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.

Bölüm 4.5.2'deki Denklem 4.8 kullanılarak pesimistik ve pesimistik ötesi senaryolar için % 100 öz sermayeli finansman modeline göre yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de görülmektedir.



Şekil 4.14 : %100 öz sermayeli finansmanı, pesimistik senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.



Şekil 4.15 : %100 öz sermayeli finansmanı, pesimistik ötesi senaryo, yatırımın geri dönüş süresi.

4.7.5 Fayda maliyet oranı analizi

Karlılık endeksi olarak da bilinen fayda maliyeti oran yöntemi, paranın zaman değerini dikkate alan dinamik yöntemlerden biridir. Fayda maliyet oran yöntemi, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişlerinin bugünkü değerleriyle toplamının, yatırım harcamalarının bugünkü değerlerinin toplamına bölünmesiyle bulunmaktadır.

Bölüm 4.5.3. bölümdeki Denklem 4.9 kullanılarak optimistik, realistik ve pesimistik senaryolar için finansman modeline göre fayda maliyet oran analizi Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : Farklı senaryo ve finansman modellerine göre projenin fayda/maliyet oranı.

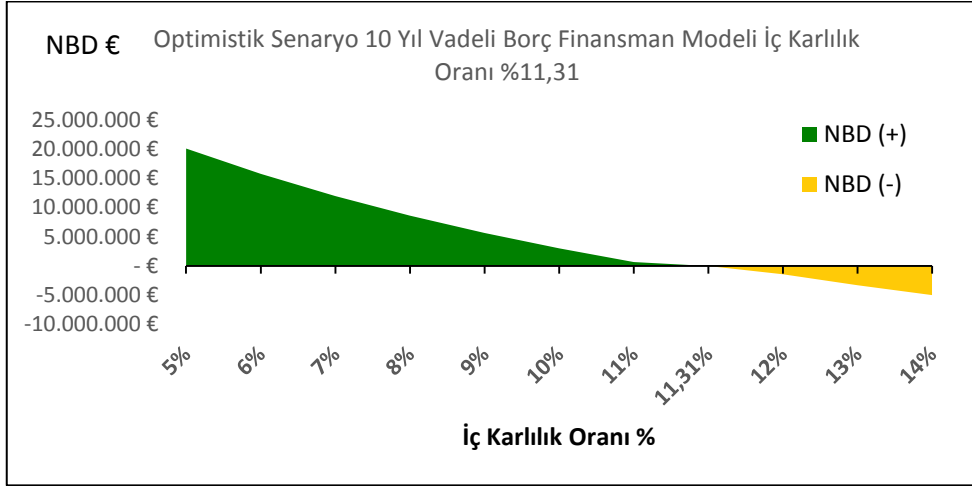
Senaryo	10 Yıl Vadeli Fayda/Maliyet Oranı	Öz Sermayeli Fayda/Maliyet Oranı
Optimistik	1,633	2,033
Realistik	1,336	1,737
Pesimistik	1,039	1,440
Pesimistik Ötesi	0,743	1,143

4.7.6 İç karlılık oran analizi

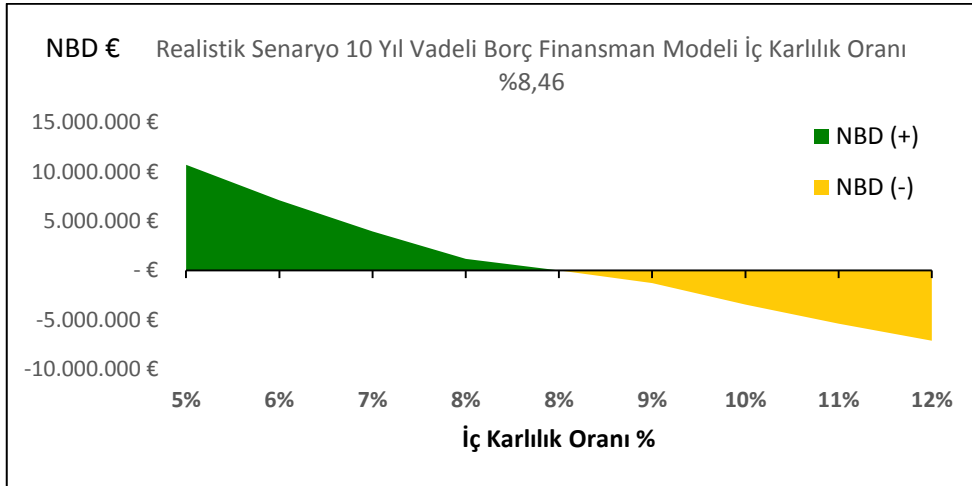
İç karlılık oranı proje seçiminde önemli bir parametredir. İç karlılık oranı yönteminde, nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerlerinin birbirlerine eşitleyen oran incelenmektedir. Tanım olarak, iç karlılık oranı, projenin nakit giriş ve çıkışlarını birbirine eşitleyen iskonto oranı olmaktadır.

İç karlılık oran analizinde iterasyon yöntemiyle her senaryoda farklı bulunmuştur. Bu değer faiz oranı olan % 5 değerinden yüksek olduğu durumlarda yatırımın ekonomik açıdan uygun olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bölüm 4.5.4'deki Denklem 4.10 kullanılarak optimistik ve realistik senaryolar için 10 yıl vadeli borç finansman modeline göre (iç karlılık oranı ile) yatırımın geri dönüş süresi analizi sırasıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.

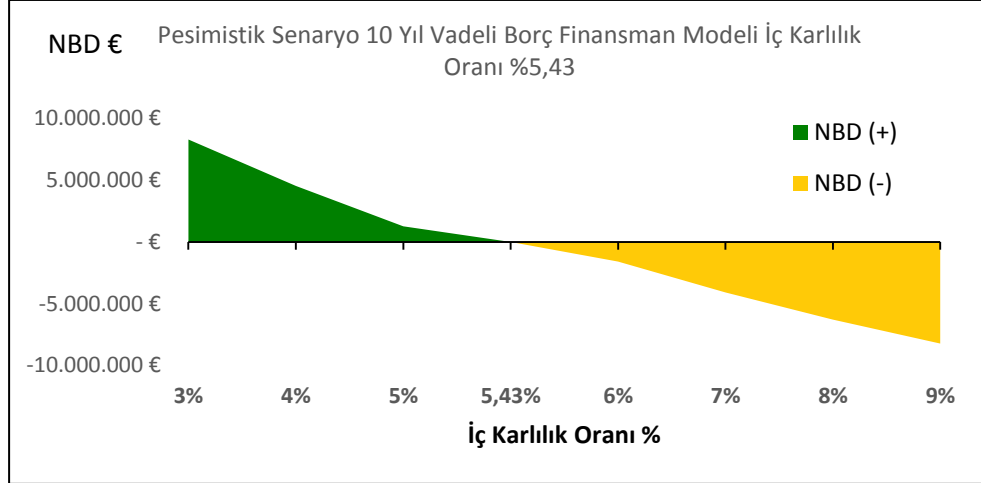


Şekil 4.16 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, optimistik senaryo, iç karlılık oranı.



Şekil 4.17 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, realistik senaryo, iç karlılık oranı.

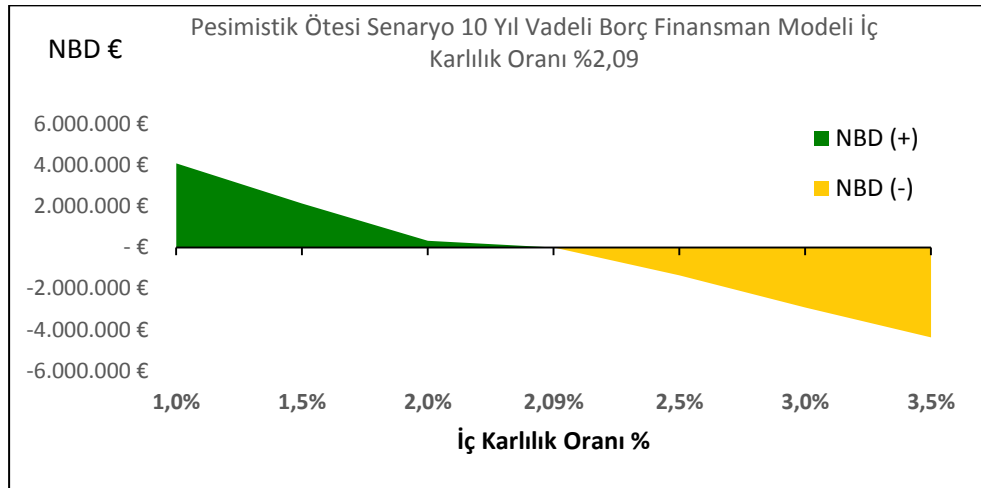
Bölüm 4.5.4'deki Denklem 4.10 kullanılarak pesimistik senaryo için 10 yıl vadeli borç finansman modeline göre (iç karlılık oranı ile) yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, pesimistik senaryo, iç karlılık oranı.

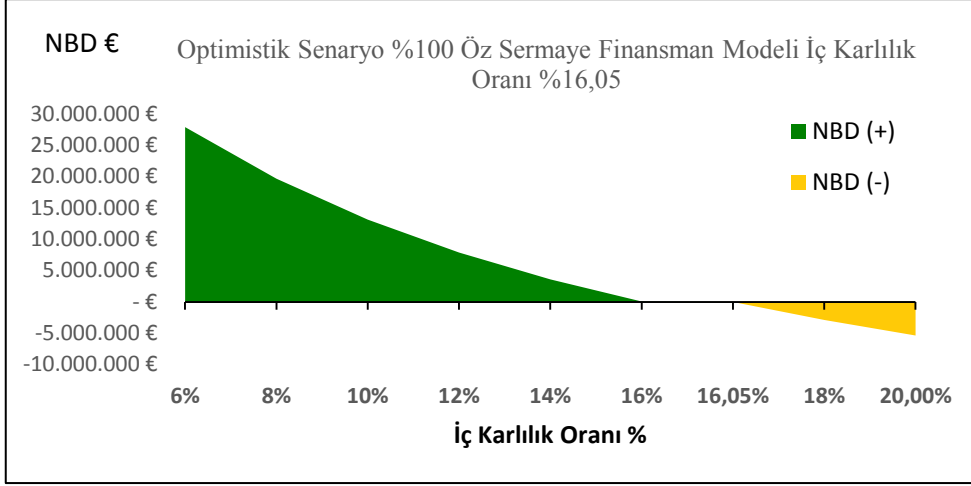
Bölüm 4.5.4'deki Denklem 4.10 kullanılarak pesimistik ötesi senaryo için 10 yıl vadeli borç finansman modeline göre (iç karlılık oranı ile) yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.19'da verilmiştir.

Şekillerden de anlaşılacağı üzere rüzgar enerjisi santralının yıl içerisinde elektrik üretme süresi (kapasite faktörü) iç karlılık oranını etkileyen en önemli parametrelerden biridir.



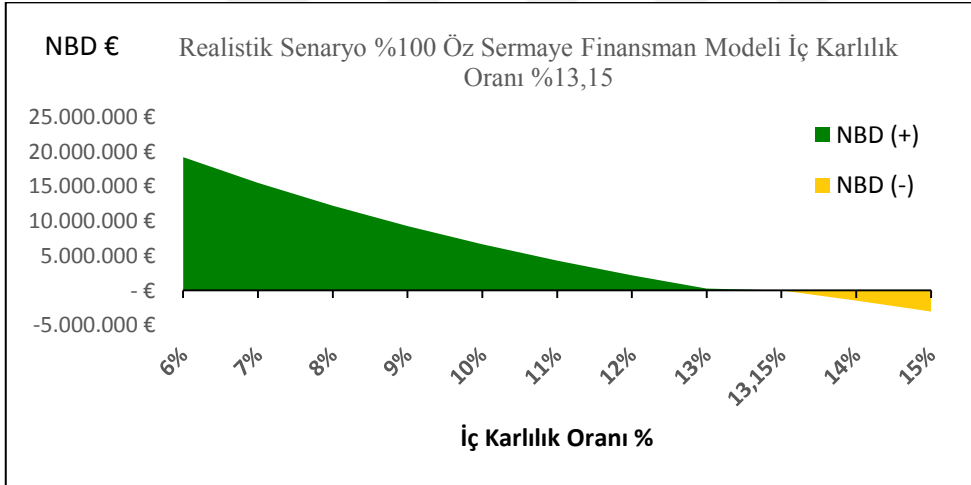
Şekil 4.19 : 10 yıl vadeli borç finansmanı, pesimistik senaryo, iç karlılık oranı.

Bölüm 4.5.4'deki Denklem 4.10 kullanılarak optimistik senaryo için % 100 öz sermayeli finansman modeline göre (iç karlılık oranı ile) yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.20'de verilmiştir.



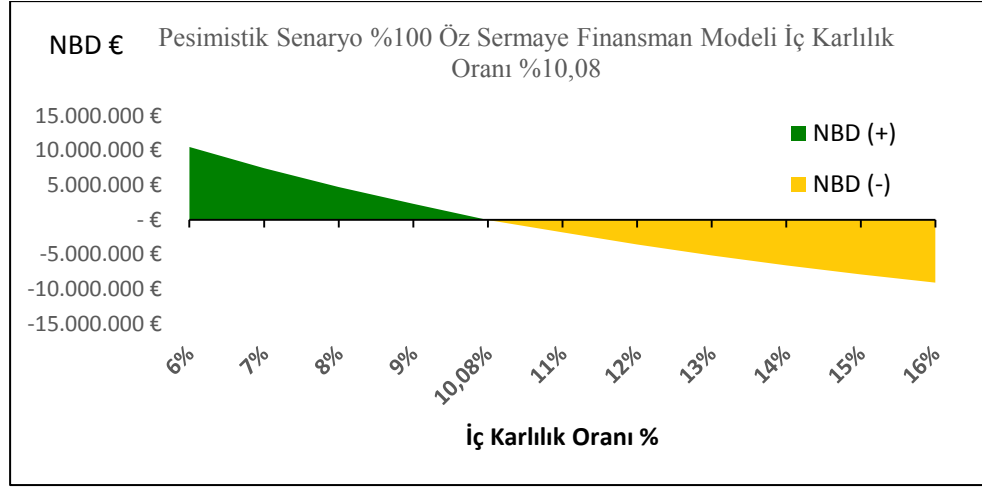
Şekil 4.20 : %100 öz sermaye, optimistlik senaryo, iç karlılık oranı.

Bölüm 4.5.4'deki Denklem 4.10 kullanılarak realistlik senaryo için % 100 öz sermayeli finansman modeline göre (iç karlılık oranı ile) yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.21'de verilmiştir.



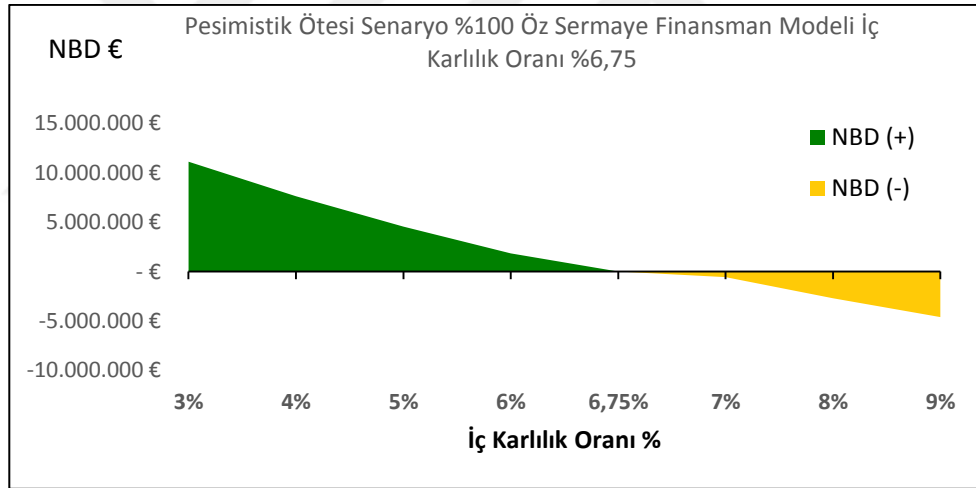
Şekil 4.21 : %100 öz sermaye, realistlik senaryo, iç karlılık oranı.

Bölüm 4.5.4'deki Denklem 4.10 kullanılarak pesimistik senaryo için % 100 öz sermayeli finansman modeline göre (iç karlılık oranı ile) yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22 : %100 öz sermaye, pesimistik senaryo, iç karlılık oranı.

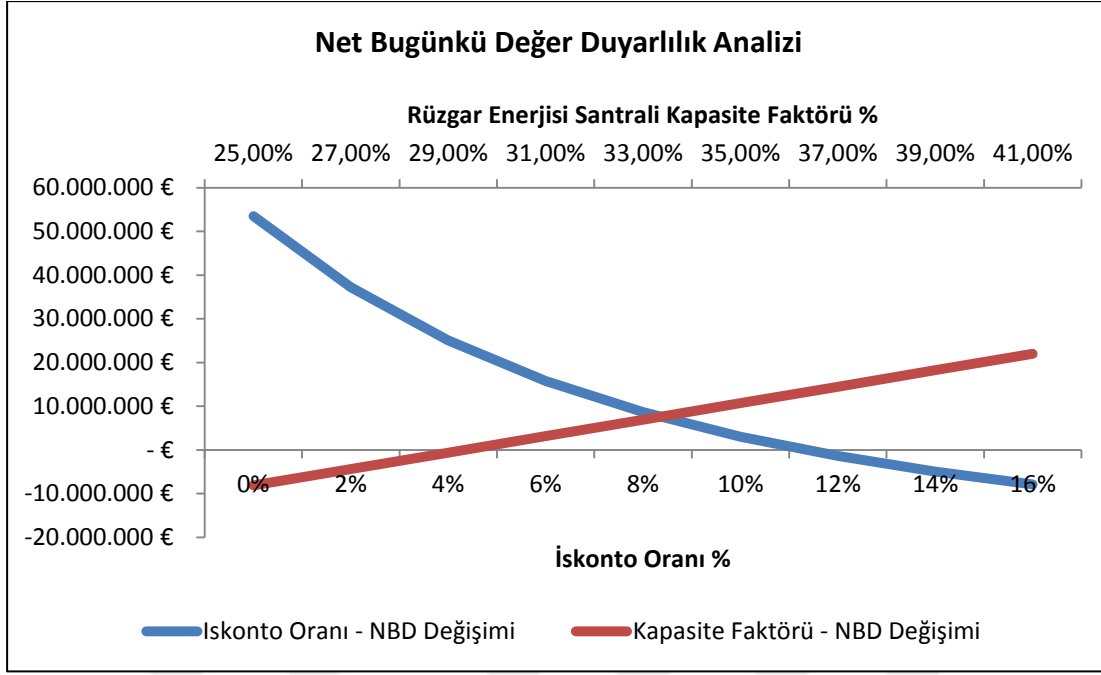
Bölüm 4.5.4'deki Denklem 4.10 kullanılarak pesimistik ötesi senaryo için % 100 öz sermayeli finansman modeline göre (iç karlılık oranı ile) yatırımın geri dönüş süresi analizi Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.23 : %100 öz sermaye, pesimistik ötesi senaryo, iç karlılık oranı.

4.7.7 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi; hesaplamalarda kullanılan çeşitli parametrelerde oluşabilecek değişikliklerin, analiz sonucunu ne şekilde etkileyeceğini incelemektedir. Bu nedenle yapılan analizler sonucunda meydana gelen belirsizliklerin giderilmesi ve analiz sonucunun irdelenmesi için duyarlılık analizinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.24 : Projenin Net Bugünkü Değerinin İskonto Oranı ve Kapasite Faktörüne Karşı Duyarlılığı.

Şekil 4.24’de ekonomik analizi yapılan rüzgar enerjisi santralının, iskonto oranı ve santralin kapasite faktörü ile net bugünkü değer parametrelerinin analiz sonucunu ne şekilde değiştirdiği duyarlılık analizi yapılarak bulunmuştur.

Projenin duyarlılık analizinde de görülebileceği gibi, iskonto oranı ve kapasite faktörünün risk yönetimi açısından dikkat edilmesi gereken önemli parametreler olduğu söylenebilir.

5. RÜZGAR SANTRALLERİN ENERJİ PİYASASINA ETKİSİNİN APLUS BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İNCELENMESİ

Bu Yüksek Lisans tezinde, Bölüm 4 içinde yapılan rüzgar santrali için ekonomik analizinin yanı sıra rüzgar santrallerinin enerji piyasaları içinde yerinin irdelenmesi benimsenmiştir. Bu amaçla APLUS Bilgisayar programı ile çalışılması yoluna gidilmiştir. Bu bölüm içinde öncelikle APLUS Bilgisayar programı tanıtılarak, Türkiye’de rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç projeksiyonu oluşturulup APLUS Bilgisayar Programı ile Türkiye Elektrik Piyasasına etkisi dört farklı senaryo altında incelenmesi hedeflenmiştir. Farklı senaryolar altında Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün artışı göz önünde bulundurularak teşvik mekanizmaları kapsamında Türkiye Elektrik Piyasasına etkisi uzun dönemli elektrik fiyatları baz alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

5.1 APLUS Bilgisayar Programı Tanıtımı

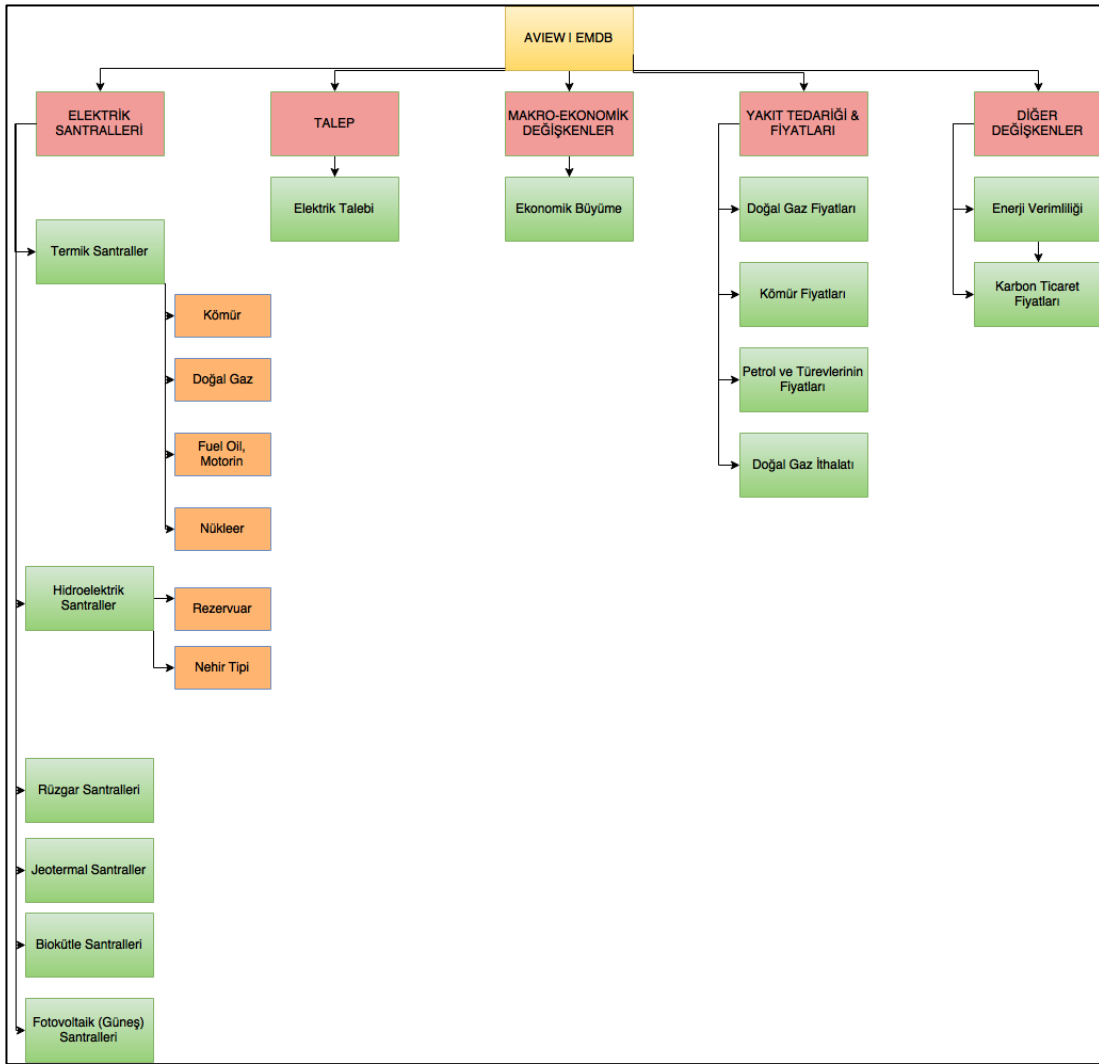
APLUS Bilgisayar programı kapsamlı bir yazılım olup tüm algoritmalar APLUS Enerji tarafından geliştirilmiştir. Türkiye Elektrik Sektörü’nün modellenmesi, analizinin yapılması, gelecek öngörülerinin analiz edilmesi ve piyasa izlemesine yönelik çift yönlü analiz yapılmasına olanak veren bir programdır (APLUS, 2016).

APLUS Bilgisayar Programı ile gerçekleştirilebilen analizler başlıca:

- Sektör analizi,
- Elektrik fiyat tahmin modellemesi,
- Elektrik talebi tahmin modellemesi,
- İşletme rejimi optimizasyon modelleri,
- Portföy optimizasyon modelleri,
- Piyasa izlemesi, olarak ifade edilmektedir.

APLUS Bilgisayar Programı, orta ve uzun vadeli öngörülerini farklı senaryo modelleri için elektrik fiyatlarını analiz edebilmektedir. Bu çalışmada, APLUS Bilgisayar Programı ile rüzgar santrallerinin teşvik mekanizması farklı senaryolarda ele alınarak elektrik fiyatları analiz edilecektir.

APLUS Bilgisayar Programı APLUS Enerji Firması'nın diğer bir yazılımı olan AVIEW | EMDB enerji piyasası veri tabanı ile entegre çalışarak uzun vadeli saatlik bazda Gün Öncesi Piyasası PTF tahminlerini farklı senaryolar için simüle edebilmektedir. Simülasyon çalışmaları kapsamında kullanılan veri tabanında göz önünde bulundurulmuş parametreler Şekil 5.1'de verilmektedir (APLUS, 2016).



Şekil 5.1 : APLUS simülasyon çalışmasında göz önünde bulundurulmuş parametreler.

Analiz kapsamında göz önünde bulundurulmuş parametreler için ilgili kurum ve kuruluşların orta ve uzun vadeli projeksiyonları, faaliyet raporları dikkate alınmıştır.

Ayrıca, ilgili kuruluşların geçmiş dönemdeki raporları da çalışma kapsamında dikkate alınmış olup, çift yönlü simülasyonlar yapılmıştır.

APLUS Bilgisayar programı Türkiye elektrik piyasasında faaliyet gösteren veya proje durumunda olan bütün santrallere ilişkin teknik ve ekonomik girdileri veri tabanında bulundurarak çalışmalarını bu kapsamda yürütmektedir. Santral veri tabanında bulunan bazı tekno-ekonomik parametreler ise şunlardır (APLUS, 2016) :

- Santral verimlilikleri, santral kurulu güçleri
- Santral yakıt tipleri (liniyit, ithal kömür, taş kömürü, doğalgaz, rüzgar, jeotermal, nehir tipi ve rezervuarlı hidroelektrik santraller, nükleer, güneş, biyokütle, fueloil, aspaltit, nafta vb.)
- Santrallerin ikincil yakıt tipleri (motorin, fueloil, nafta vb.)
- Şirket tipleri (EÜAŞ, İHD, Yİ, YİD ve Serbest Üretim Şirketi)
- Santrallerin teknoloji tipleri (motor, konvansiyonel, kombine çevrim, süper kritik vb.)
- Santrallerin termodinamik çevrim tipleri (rankine, brayton vb.)
- Planlı ve plansız kesinti oranları, uzun dönemli santral bazlı bakım planları
- İç tüketim ihtiyaç oranları, minimum kararlı üretim oranları
- Minimum kararlı üretim verimleri
- Minimum kararlı üretim periyotları
- Kurulu güç-bozunum eğrileri, verim-bozunum eğrileri
- Kurulu güç-sıcaklık eğrileri, verim-sıcaklık eğrileri
- Karbon emisyon katsayıları
- Santrallerin atıl kurulu güç oranları
- Katkı payı ve redevans bedelleri, yakıt fiyatları, yakıt alt ısıl değerleri
- Değişken bakım ve işletme maliyetleri, yıllık sabit maliyetleri, açma-kapatma maliyetleri
- Yakıtlar için taşıma veya iletim bedelleri, yatırım maliyetleri

- Lokasyon ve bağılı bulunan Yük Tevzi Merkezi (YTM) bilgileri
- Santraller için devreye giriş tarihleri veya devreye giriş tarihi öngörülleri
- Santraller için devreden çıkış tarihleri veya devreden çıkış öngörülleri
- Santrallere yönelik uzun dönemli proje yapılabilirlik öngörülleri
- Uzun dönemli santral rehabilitasyon öngörülleri

APLUS Bilgisayar Programı ile orta ve uzun dönemli elektrik fiyat tahmin analizi yapılırken, ilgili saatte arz ile talebin kesiştirildiğı noktada marjinal fiyat esasına dayalı olarak piyasa takas fiyatı belirlenmektedir. Bu kapsamda, öncelikle yıllık talep tahmini yapılmaktadır. Yıllık talep tahmini yapılırken aşğıdaki parametreler dikkate alınmaktadır:

- Türkiye yıllık net toplam tüketimleri,
- Türkiye Gayri Safi Yurtiçi Hasıla,
- Enerji verimliliğı,
- Elektrikli araçların artışı.

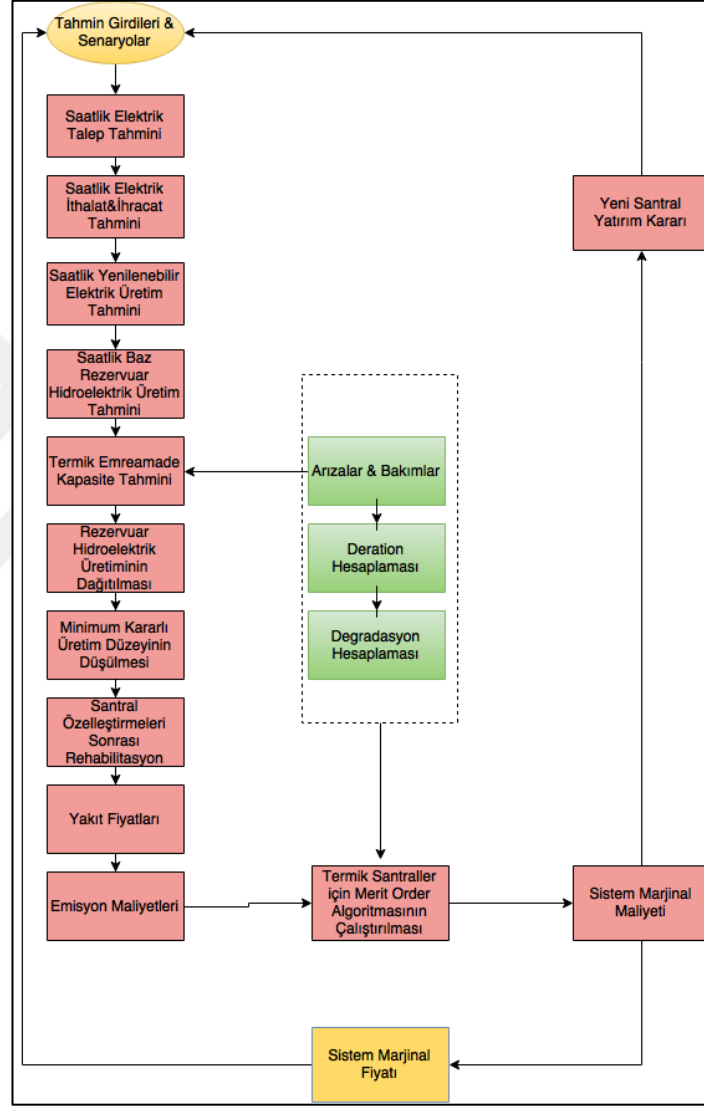
Yıllık talep tahmini yapıldıktan sonra saatlik profillere dağıtım yapılmaktadır. Ardından, arz tarafı için üretim tahmini yapılmaktadır. Üretim tahmini yapılırken termik santrallerin emre amadelik tahminleri, yakıt fiyat tahminleri, il bazlı sıcaklık tahminleri ve yenilenebilir enerji santralleri için kapasite tahminleri analizin giriş parametrelerini oluşturmaktadır (APLUS, 2016).

APLUS Bilgisayar Programı, veri tabanındaki bilgileri sürekli güncel tutarak gelecekte devreye girecek santraller için Dinamik Devreye Alma Algoritmasını kullanmaktadır. Dinamik Devreye Alma Algoritması ile santral özelleştirme tarihleri, kurulu güç artışı veya azalışı nedeniyle meydana gelen değışimler, verim değışiklikleri, analiz çalışmalarında dinamik olarak göz önünde bulundurulmaktadır. Ayrıca, Dinamik Devreye Alma Algoritması ile devreye giriş tarihi net olarak verilemeyen ancak lisansı olan santrallere ilişkin yatırım kararı verilmesi ve devreye giriş tarihinin belirlenmesi de sağlanmaktadır (APLUS, 2016).

APLUS Bilgisayar programı yatırım sürecinde olan santrallerin birim yatırım maliyetleri, tahmin edilen piyasa takas fiyatı ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda birim yatırım maliyetinin tahmin edilen piyasa takas

fiyatının altında olması durumunda santral devreye alınmaktadır. Aksine olarak, üstünde olması durumunda ise santralin devreye girişi bir sonraki yıl yine aynı metodoloji ile değerlendirilmektedir.

Model, santral yatırımları için gerçek verilere dayanan analiz çerçevesinde fiyat öngörüsünde bulunarak yatırımın devreye alınıp alınmamasını, alınması gerekiyorsa hangi yılda alınması gerektiğini sunabilmektedir.



Şekil 5.2 : APLUS Bilgisayar Programı Tahmin Metodolojisi.

Simülasyon çalışmalarında belirli bir zaman aralığı için yıllık talep çıktıları alınmaktadır. Elektrik talebinin belirlenmesinin ardından, daha önce belirtilen esaslara göre kaynak bazında elektrik üretim değerleri ve toplam kurulu güç değerleri yıllık olarak elde edilebilmektedir. Bu veriler kullanılarak söz konusu yıllardaki piyasa kurulu gücünün ve elektrik üretim miktarının kaynaklara göre dağılımı tahmin

edilebilmektedir. Şekil 5.2’de tahmin metodolojisi kısaca özetlenmiştir (APLUS, 2016).

APLUS Bilgisayar Programı ile enerji piyasasında faaliyet gösteren piyasa oyuncuları için bir çok değerlendirme yapılması mümkün olabilmektedir.

APLUS Bilgisayar Programı ile başlıca;

- Türkiye elektrik piyasasında faaliyet gösteren veya proje durumunda olan bütün santrallere ilişkin teknik ve ekonomik girdileri sunmaktadır.
- Santrallerin tekno-ekonomik parametrelerinde meydana gelen veya gelmesi öngörülen bilgileri sunmaktadır.
- Uzun yıllar tüketim verileri, makro-ekonomik değişkenler ve diğer değişkenler kullanılarak geleceğe yönelik Türkiye elektrik talep tahmini yapılmaktadır.
- Uzun yıllar üretim verileri kullanılarak yenilenebilir kaynaklı üretim santralleri için kapasite faktörü tahmini yapılmaktadır.
- Yatırımcılar için yatırımların maliyet bazlı değerlendirilmesi ile piyasa dizaynı gerçekleştirenler için yapılacak bir düzenlemenin piyasaya yapacağı etki analizleri yapılabilmektedir.
- Yakıt fiyatları ve yakıt tedariğine ilişkin bilgiler kullanılarak geleceğe yönelik tahmini yakıt fiyatları oluşturulmaktadır.
- Termik santrallerin üretim maliyetleri ve teklif kapasiteleri, santral veri tabanı, değişiklik yönetimi, termik emre amadelik tahminleri, yakıt fiyat tahminleri ve il bazlı sıcaklık tahminleri kullanılarak termik santraller için saatlik santral bazlı değişken üretim maliyetleri ve teklif kapasiteleri hesaplanmaktadır.
- Büyük elektrik santralleri için yük akış analizi uygulamaları analiz edilmektedir.

APLUS Bilgisayar programı gelişmiş bir yazılım olup, Türkiye Elektrik Piyasası’nın analiz edilip, yeni piyasa koşullarına göre modellenmesine olanak sağlamaktadır.

APLUS Bilgisayar Programı ile senaryolar ve sonuçların analizine geçmeden önce, Türkiye’nin rüzgar enerjisi hedeflerine değinilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

5.2 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Hedefleri

Dünya'da ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak için uzun vadeli ulusal hedefler belirlenmektedir. Belirlenen bu hedefler ilgili ülkedeki otorite durumundaki kuruluşlar tarafından belirlenerek ülke politikasına dönüştürülmektedir. Türkiye'de bu alanda farklı kurum ve kuruluşların ortaya koymuş olduğu hedefler bulunmaktadır. Aşağıda bu hedeflerden kısaca bahsedilmektedir.

Türkiye Avrupa Birliği'ne üyelik için aday ülke konumundadır ve Avrupa Birliği müktesebatına ve gerekliliklerine uyum için gerekli çalışmaları yürütmektedir. Enerji faslı Avrupa Birliği müktesebatında üye ülkelerin sürdürülebilir bir politikaya ulaşması açısından önem arz etmektedir. "Yenilenebilir Kaynaklardan Elde Edilen Enerji Kullanımının Teşviki Hakkındaki 2009/28/EC sayılı Direktif", her üye devletin Direktifte belirtilen bağlayıcı hedeflere uyum amacıyla 30 Haziran 2010 tarihine kadar Avrupa Komisyonu'na (EC) sunulmak üzere 2011-2020 dönemini kapsayan bir "Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı (YEPP)" hazırlamasını öngörmektedir. Türkiye için 2020 yılı yerine Cumhuriyetin kuruluşunun yüzüncü yıldönümü olması ve söz konusu yıl için bazı sektörel ve ekonomik hedefler belirlenmiş olması sebebiyle 2023 yılı kilometre taşı olarak öngörülmüş bulunmaktadır.

Mayıs 2009 tarihli Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesinde Türkiye Cumhuriyetinin 100. Kuruluş yıldönümünün kutlanacağı 2023 yılında yenilenebilir enerjiye dayalı olarak üretilen elektriğin tüm elektrik üretim portföyündeki ağırlığının en az %30 düzeyine gelmesi ve rüzgar enerjisi kurulu gücünün 2023 yılına kadar 20.000 MW'a çıkarılması hedeflenmektedir (Url-42).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planında da yenilenebilir enerji kaynakları için hedefler belirlenmiştir. 2015-2019 Stratejik planında belirtilen 1. hedef enerji arz güvenliğidir. Arz güvenliğinin ana bileşenleri; üretim, iletim, dağıtım, depolama alt yapısının sağlanması ve talebin yönetilmesi olarak öngörülmektedir.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planında 2. Amaç optimum kaynak çeşitliliğini sağlamaktır. Birincil enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve ülkemizin sahip olduğu kaynakların rasyonel şekilde kullanılması hem sürekliliğin hem de düşük maliyetli enerji arzının kilit bileşenleri

olmaktadır. Bu bağlamda, dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin azaltılması ve enerji kaynaklarımızın öne çıkarılması ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde kaynak çeşitliliğinin sağlanabilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması açısından öne çıkan bir parametredir. Bu kapsamda ülkemizin sahip olduğu hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga ve akıntı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması kaynak çeşitliliğinin sağlanabilmesi açısından stratejik öneme sahiptir. Bu nedenle Stratejik Plan kapsamında yenilenebilir enerjinin elektrik enerjisi üretimindeki payının artırılması hedeflenmiştir.

Bu kapsamda Çizelge 5.1’de belirtilen A2. Performans Göstergesinde rüzgar enerjisiyle ilgili olarak 2013 yılında 2.958 MW olan rüzgar enerjisi kurulu güç değerinin 2019’da 10.000 MW’a çıkarılması hedeflenmiştir (Url-43). Burada koordinatör olarak YEGM, gerçekleştirme sorumluları olarak da YEGM, MTA, TEİAŞ ve EPDK belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 : ETKB 2015-2019 A2.Performans Göstergesi 3.2 Rüzgar Enerjisi Performans Göstergeleri.

Hedeflenen zaman periyodu	2013 (Baz Yıl)	2015	2017	2019
Rüzgar enerjisi için hedeflenen kurulu güç değerleri (MW)	2.958	5.600	9.500	10.000

Türkiye rüzgar enerjisi hedefleriyle ilgili ortaya konan diğer bir stratejik plan ise, Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı tarafından 2015 yılında belirlenmiştir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (BMİDÇS) 2. Maddesinde yer alan temel hedefini sağlamaya yönelik olarak niyet edilen ulusal katkı hedefleri kapsamında yenilenebilir enerji alanında hedef politikaları belirlenmiştir. Bu hedefler:

- Güneş enerjisinden elektrik üretiminin 2030 yılına kadar 10 GW kapasiteye ulaşması,
- Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin 2030 yılına kadar 16 GW kapasiteye ulaşması,
- Mümkün olan tüm hidrolik kapasitenin kullanılması, olarak belirlenmiştir.

5.3 Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Projeksiyonlarının Türkiye Elektrik Piyasası'na Etkisi

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında 2016 – 2025 zaman aralığında Türkiye'deki rüzgar enerjisi kurulu gücünün artışının spot piyasa elektrik fiyatlarına etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda 4 farklı senaryo oluşturulmuş olup, senaryolar için hazırlanan giriş parametreleri ve analiz sonuçları alt bölümlerde verilmektedir. Yapılan simülasyon çalışmaları 10 yıllık bir zaman periyodunu kapsamakla birlikte, Türkiye'nin rüzgar enerjisi alanında koymuş olduğu hedefler 2023 yılına ait olduğu için simülasyon sonuçlarında 2023 yılında beklenen rüzgar enerjisi kurulu gücü detaylı bir şekilde incelenmiştir.

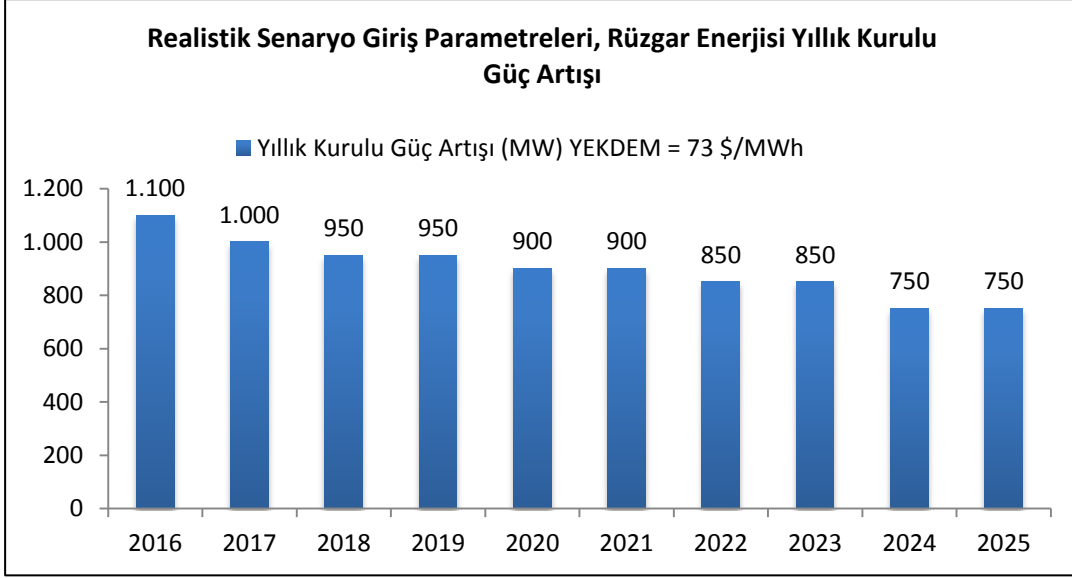
5.3.1 Rüzgar santrallerinin hedefe uygun devreye giriş (Realistik) senaryosunun APLUS Bilgisayar Programı ile incelenmesi

Realistik senaryo kapsamında, rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için mevcut teşvik mekanizması olan devreye giriş tarihinden itibaren 10 yıl boyunca 73 \$/MWh alım garantisi ile sürdürüleceği öngörülerek EPDK tarafından yatırımcılara verilmiş tüm lisanslı ve ön lisanslı projelerin devreye alınacağı düşünülmüştür. Çizelge 5.2'de Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği'nin Ocak 2016 İstatistik Raporu'nda belirtilen inşa halindeki rüzgar enerjisi yatırımlarının, EPDK tarafından lisans verilmiş inşa halinde olmayan ve yeni lisans verilecek olan rüzgar enerjisi projelerinin toplam kurulu gücü görülmektedir (Url-10).

Çizelge 5.2 : Türkiye'de rüzgar enerjisi santralleri için verilmiş ve verilecek olan lisans kapasiteleri.

Lisanslı İnşa Halindeki Rüzgar Enerjisi Yatırımları (MW)	1.869
Lisanslı İnşa Halinde Olmayan Rüzgar Enerjisi Yatırımları (MW)	3.144
Yeni Lisans Verilecek Olan Rüzgar Enerjisi Yatırımları (MW)	3.000
Toplam	8.013

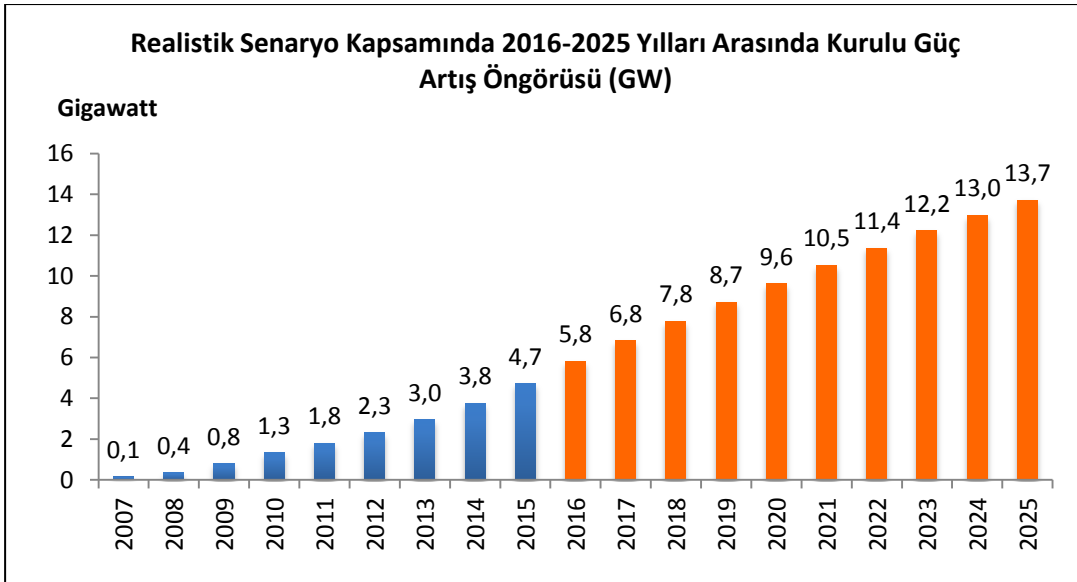
Ocak 2016 itibariyle Türkiye'nin rüzgar enerjisi kurulu gücü 4.718 MW olup, realistik senaryoda giriş parametresi olarak kullanılacak olan 2016 – 2025 tarihleri arasında kurulu güç artışı Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.3 : Realistik senaryo giriş parametreleri, rüzgar enerjisi yıllık kurulu güç artışı.

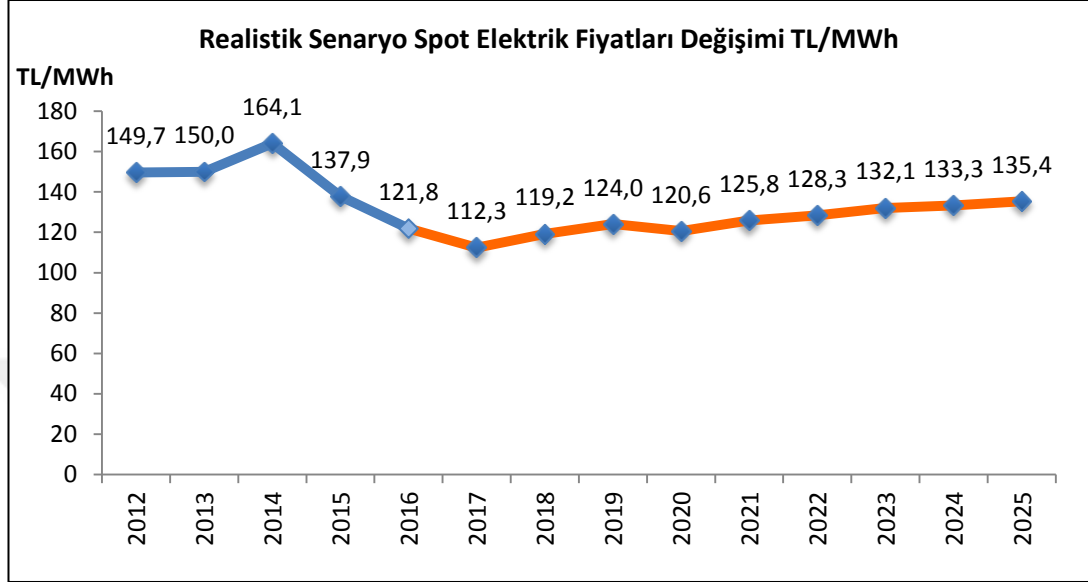
Öngörülen 2016 – 2025 yılları arasındaki rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ile birlikte 2025 yılında Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü 13.718 MW'a ulaşacak olup Şekil 5.4'de toplam kurulu güç değişimi gösterilmiştir.

Kurulu gücün yıllar içerisindeki artışı, azalan bir trende sahiptir. Bu durumun en önemli sebebi olarak rüzgar enerjisinin ekonomik potansiyelinin devreye alınan proje sayısı arttıkça azalması olarak gösterilebilir.



Şekil 5.4 : Realistik senaryo kapsamında 2016-2025 yılları arasında kurulu güç artış öngörüsü.

Realistik senaryo kapsamında öngörülen rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ile birlikte 2016-2025 yılları arasındaki Türkiye Elektrik Piyasası'nda spot elektrik fiyatları APLUS Bilgisayar Programı ile elde edilmiş olup Şekil 5.5'de bu değişim grafiği verilmektedir.

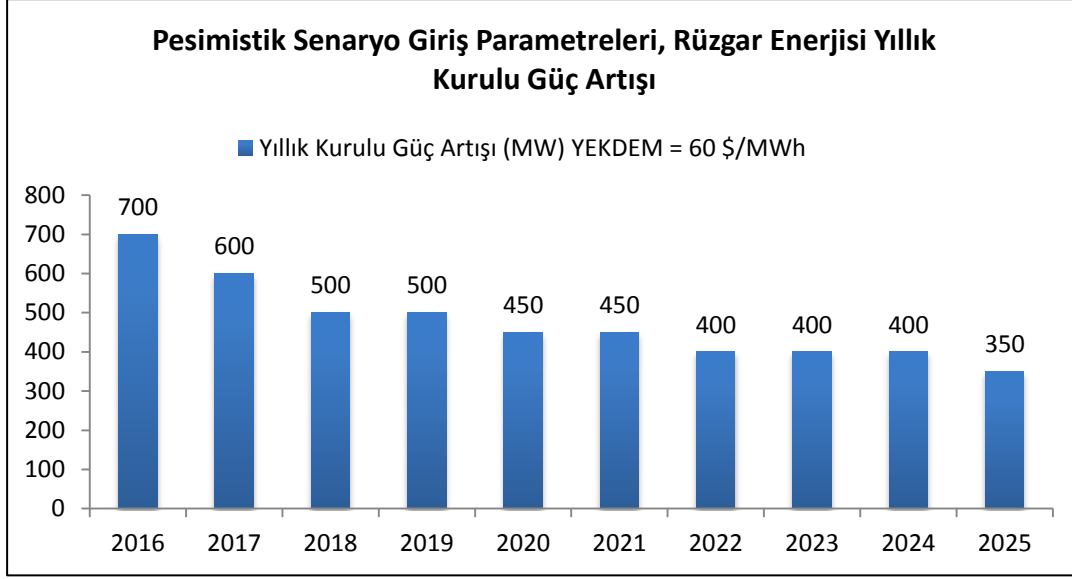


Şekil 5.5 : Realistik senaryo simülasyon sonuçları, 2016 – 2025 yılları arasındaki Türkiye spot elektrik fiyatları yıl ortalaması TL/MWh.

5.3.2 Rüzgar santrallerinin devreye giriş projeksiyonunun pesimistik senaryo kapsamında APLUS Bilgisayar Programı ile incelenmesi

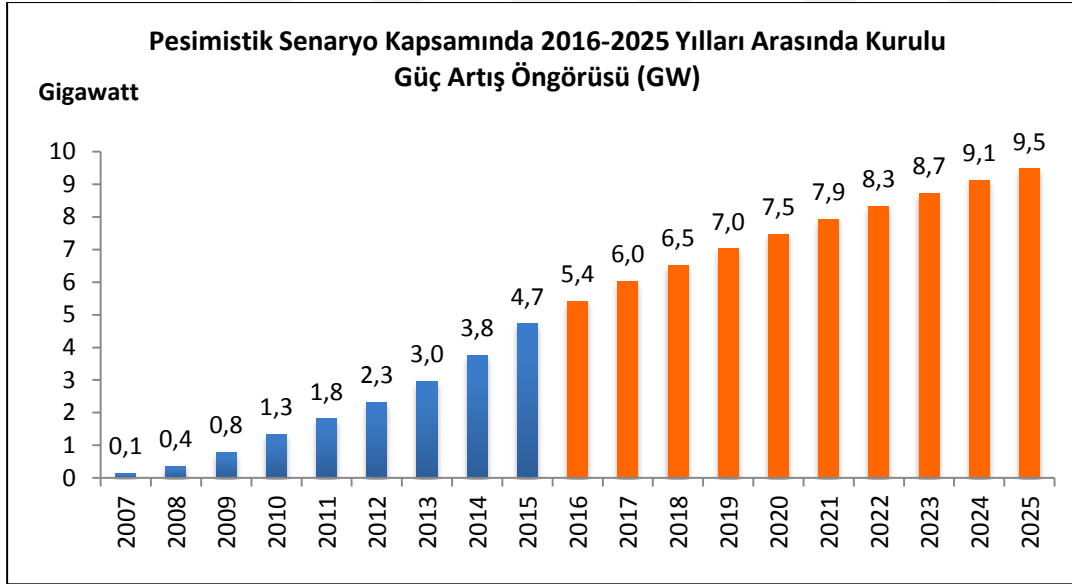
Pesimistik senaryo kapsamında Türkiye Elektrik Piyasası'nda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için verilen alım garantisi teşviğinin 73 \$/MWh'den 60 \$/MWh'e düşürüleceği öngörülmüş olup, bu öngörü kapsamında 2016 – 2025 yılları arasında devreye alınacak olan rüzgar enerjisi santrallerinin kapasitesinde düşüş beklenmektedir.

Pesimistik senaryo çalışmalarında giriş parametresi olarak kullanılacak olan 2016 – 2025 tarihleri arasında kurulu güç artışı Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



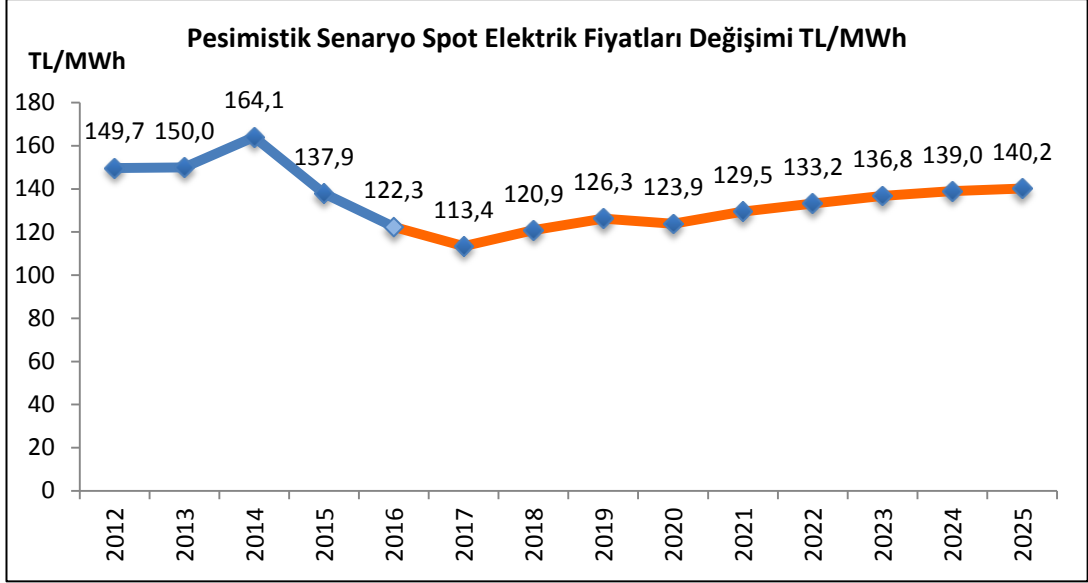
Şekil 5.6 : Pesimistik senaryo giriş parametreleri, rüzgar enerjisi yıllık kurulu güç artışı.

Öngörülen 2016 – 2025 yılları arasındaki rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ile birlikte 2025 yılında Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü 9.468MW'a ulaşacak olup Şekil 5.7'de toplam kurulu güç değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Pesimistik senaryo kapsamında 2016-2025 yılları arasında kurulu güç artış öngörüsü.

Pesimistik senaryo kapsamında öngörülen rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ile birlikte 2016-2025 yılları arasındaki Türkiye Elektrik Piyasası'nda spot elektrik fiyatları APLUS Bilgisayar Programı ile elde edilmiş olup Şekil 5.8'de bu değişim grafiği verilmektedir.

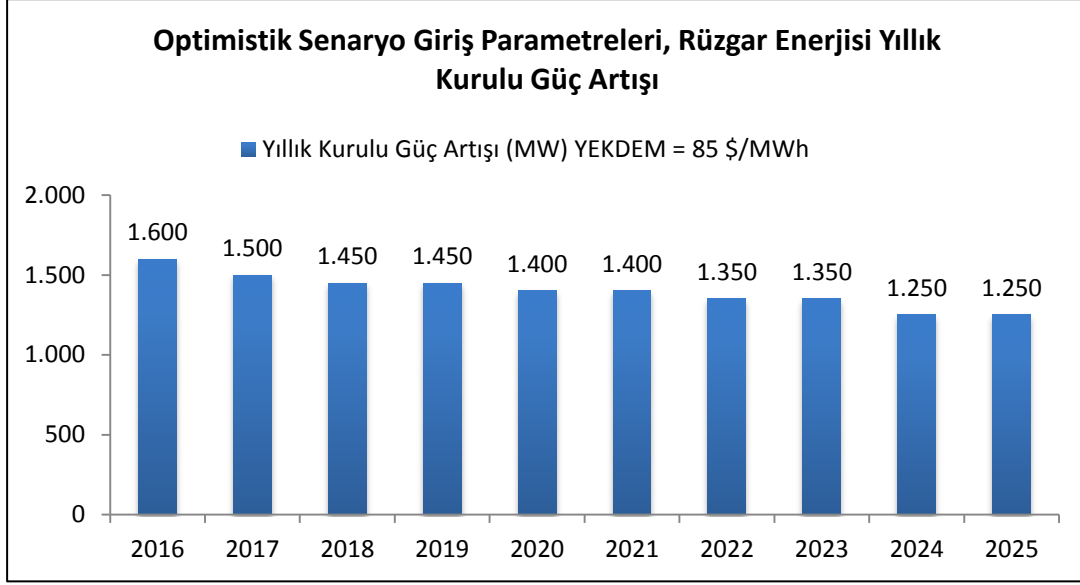


Şekil 5.8 : Pesimistik senaryo simülasyon sonuçları, 2016 – 2025 yılları arasındaki Türkiye spot elektrik fiyatları yıl ortalaması TL/MWh.

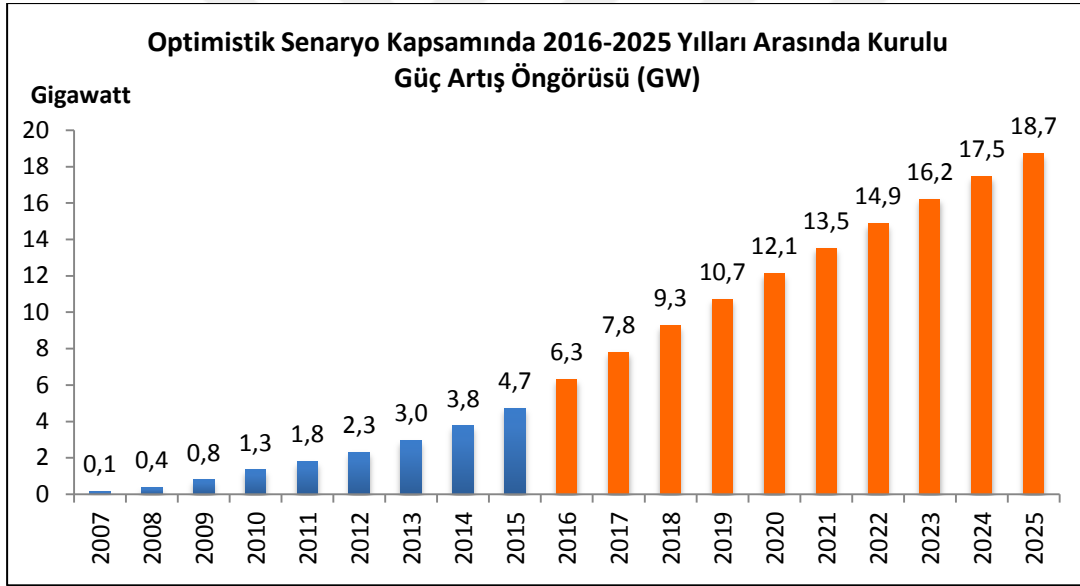
5.3.3 Rüzgar santrallerinin devreye giriş projeksiyonunun optimistik senaryo kapsamında APLUS Bilgisayar Programı ile incelenmesi

Optimistik senaryo kapsamında Türkiye Elektrik Piyasası'nda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için verilen alım garantisi teşviğinin 73 \$/MWh'den 85 \$/MWh'e arttırılacağı öngörülmüştür. Bu öngörü kapsamında 2016 – 2025 yılları arasında EPDK tarafından mevcut durumda verilmiş olan tüm lisanslı rüzgar enerjisi projelerinin hayata geçirilmesi beklenmektedir. Ek olarak rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için verilen alım garantisi teşviğinin arttırılması yapılan yatırımlarda artışa sebep olacağı düşünülmektedir. Optimistik senaryo çalışmalarında giriş parametresi olarak kullanılacak olan 2016 – 2025 tarihleri arasında kurulu güç artışı şekil 5.9'da gösterilmiştir.

Öngörülen 2016 – 2025 yılları arasındaki rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ile birlikte 2025 yılında Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü 18.718 MW'a ulaşacak olup Şekil 5.10'da toplam kurulu güç değişimi gösterilmiştir.

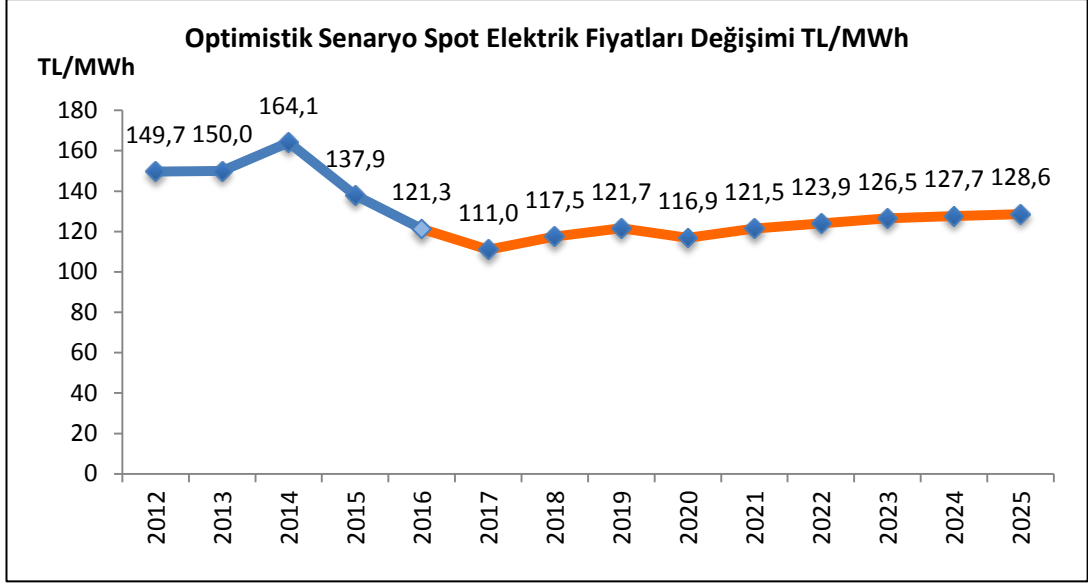


Şekil 5.9 : Optimistik senaryo giriş parametreleri, rüzgar enerjisi yıllık kurulu güç artışı.



Şekil 5.10 : Optimistik senaryo kapsamında 2016-2025 yılları arasında kurulu güç artış öngörüsü.

Optimistik senaryo kapsamında öngörülen rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ile birlikte 2016-2025 yılları arasındaki Türkiye Elektrik Piyasası'nda spot elektrik fiyatları APLUS Bilgisayar Programı ile elde edilmiş olup Şekil 5.11'de bu değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 5.11 : Optimistik senaryo simülasyon sonuçları, 2016 – 2025 yılları arasındaki Türkiye spot elektrik fiyatları yıl ortalaması TL/MWh.

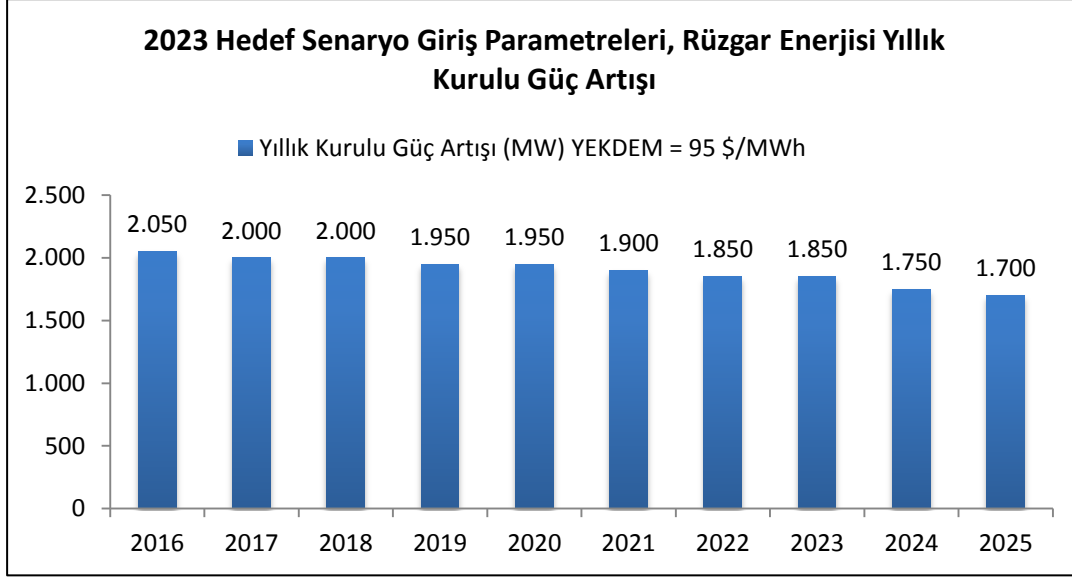
5.3.4 Rüzgar santrallerinin devreye giriş projeksiyonunun 2023 hedefleri kapsamında APLUS Bilgisayar Programı ile incelenmesi

Mayıs 2009 tarihli Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesinde Türkiye Cumhuriyetinin 100. Kuruluş yıldönümünün kutlanacağı 2023 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MW'a ulaşması hedeflenmiştir. Bu hedefler kapsamında oluşturulan senaryoda Türkiye Elektrik Piyasası'nda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için verilen alım garantisi teşviğinin 73 \$/MWh'den 95 \$/MWh'e arttırılacağı öngörülmüştür.

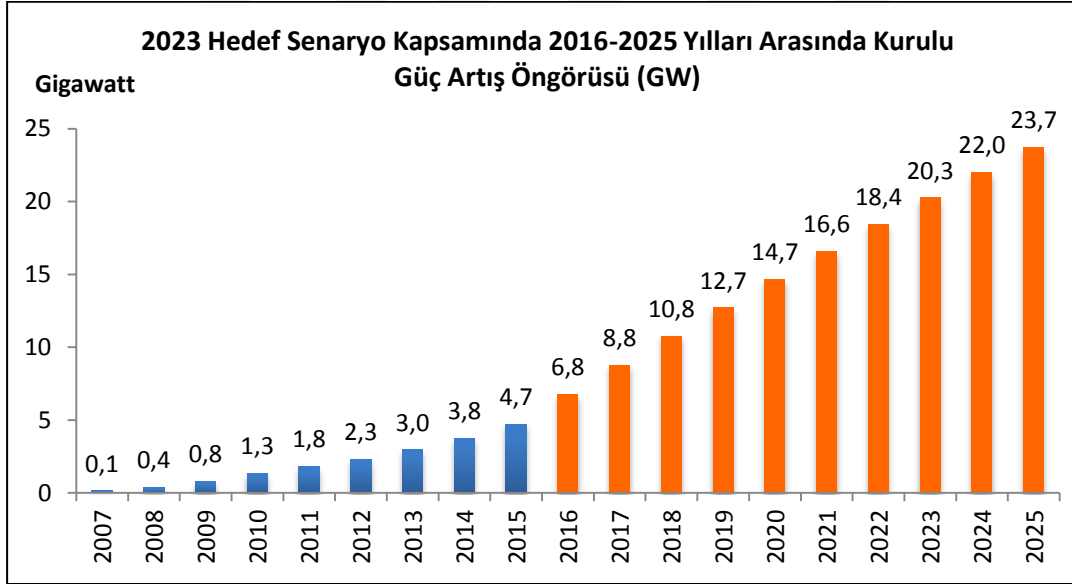
Bu öngörü kapsamında 2016 – 2025 yılları arasında EPDK tarafından mevcut durumda verilmiş olan tüm lisanslı rüzgar enerjisi projelerinin hayata geçirilmesi beklenmektedir. Ek olarak EPDK tarafından yeni rüzgar sahaları için lisanslar verilecektir.

Rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için verilen alım garantisi teşviğinin %30 oranında arttırılması yapılan yatırımlarda artışa sebep olacağı düşünülmektedir. Senaryo çalışmalarında giriş parametresi olarak kullanılacak olan 2016 – 2025 tarihleri arasında kurulu güç artışı Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

Öngörülen 2016 – 2025 yılları arasındaki rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ile birlikte 2025 yılında Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü 23.718MW'a ulaşacak olup şekil 5.13'de toplam kurulu güç değişimi gösterilmiştir.

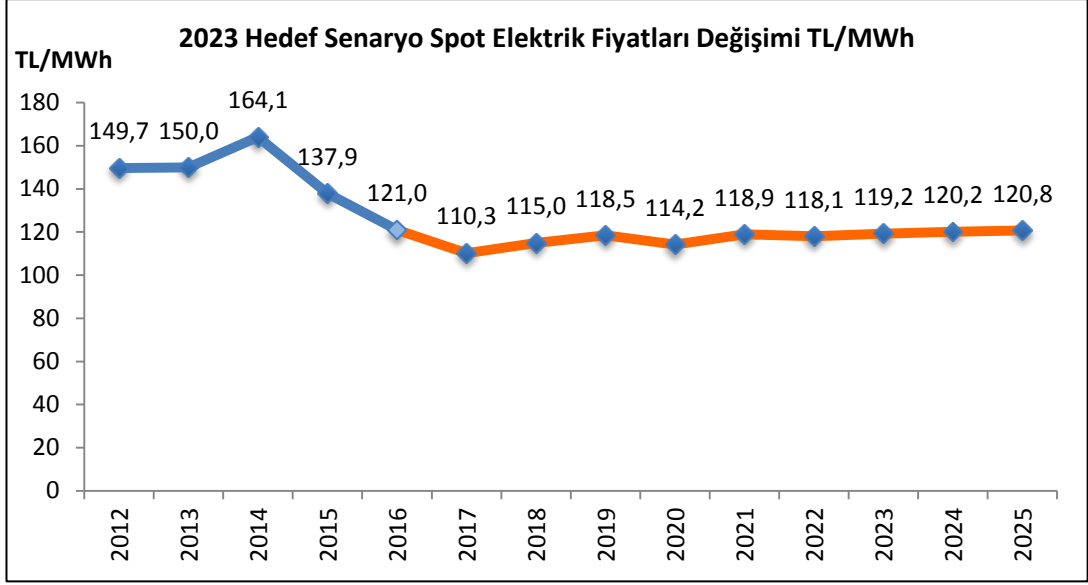


Şekil 5.12 : 2023 hedef senaryo giriş parametreleri, rüzgar enerjisi yıllık kurulu güç artışı.



Şekil 5.13 : 2023 hedef senaryo kapsamında 2016-2025 yılları arasında kurulu güç artış öngörüsü.

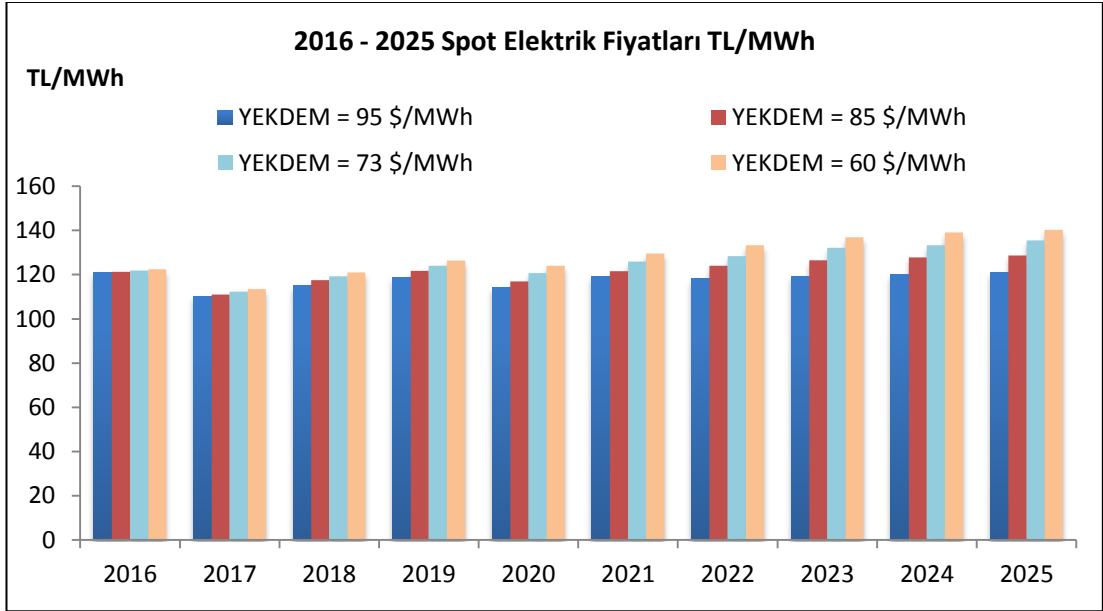
2023 hedef senaryo kapsamında öngörülen rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ile birlikte 2016-2025 yılları arasındaki Türkiye Elektrik Piyasası'nda spot elektrik fiyatları APLUS Bilgisayar Programı ile elde edilmiş olup Şekil 5.14'de bu değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 5.14 : 2023 hedef senaryo simülasyon sonuçları, 2016 – 2025 yılları arasındaki Türkiye spot elektrik fiyatları yıl ortalaması TL/MWh.

5.3.5 APLUS Bilgisayar Programı ile Yapılan Rüzgar Santrallerinin Devreye Giriş Senaryolarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

APLUS Bilgisayar Programı ile analizi yapılan 4 farklı senaryo sonuçları Şekil 5.15’de karşılaştırmalı olarak belirtilmiştir.

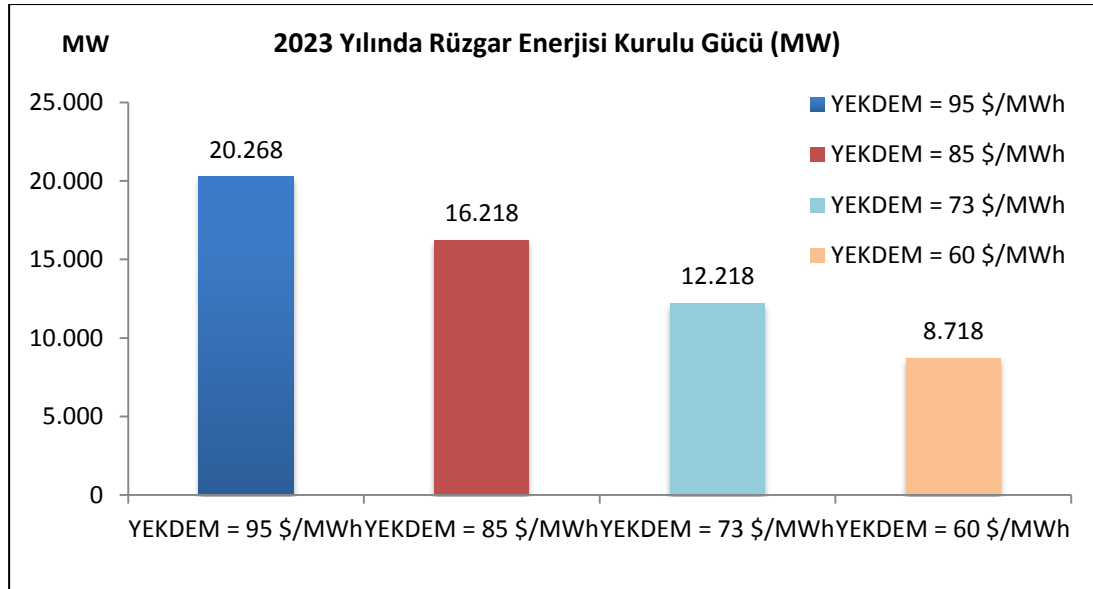


Şekil 5.15 : APLUS Bilgisayar Programı ile yapılan senaryo çalışmasının karşılaştırmalı gösterimi.

Şekil 6.13’de görüldüğü üzere rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için uygulanan alım garantili teşvik fiyatının değişimi spot elektrik fiyatlarını negatif yönde etkilemektedir.

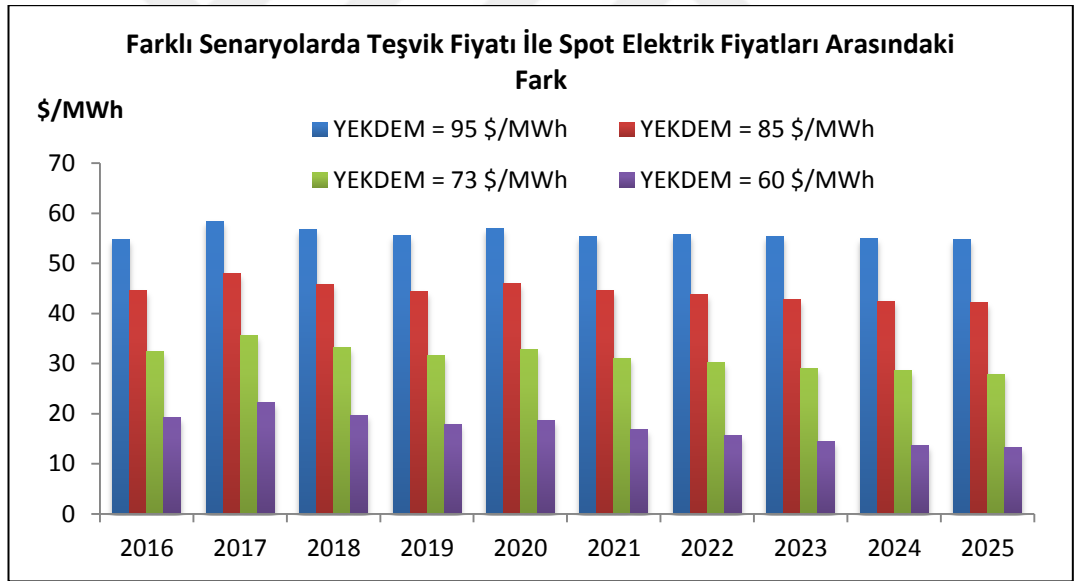
Senaryo çalışmaları kapsamında kullanılan giriş parametreleri sonucunda 2025 yılındaki kurulu güç karşılaştırması Şekil 6.14’de gösterilmiştir. Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin 95 \$/MWh olduğu senaryoda Mayıs 2009 tarihli Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesinde Türkiye Cumhuriyetinin 100. Kuruluş yıldönümünün kutlanacağı 2023 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MW olması hedefine ulaşılmış olup diğer senaryolarda bu hedefin altında kalınacağı öngörülmüştür.

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı tarafından 2015 yılında belirlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (BMİDÇS) 2.Maddesinde yer alan temel hedefini sağlamaya yönelik olarak niyet edilen ulusal katkı hedefleri kapsamında 2030 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücünün 16.000 MW olması hedeflendiği Bölüm 5.16’da belirtilmiştir. Söz konusu hedefe rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için verilen teşviğin 85 \$/MWh olduğu senaryoda hedef yılından 7 sene önce, 2023 yılında ulaşılmış olmaktadır. İlgili teşviğin 73 \$/MWh olduğu senaryoda ise 2030 yılında ulaşılabileceği söylenebilir.

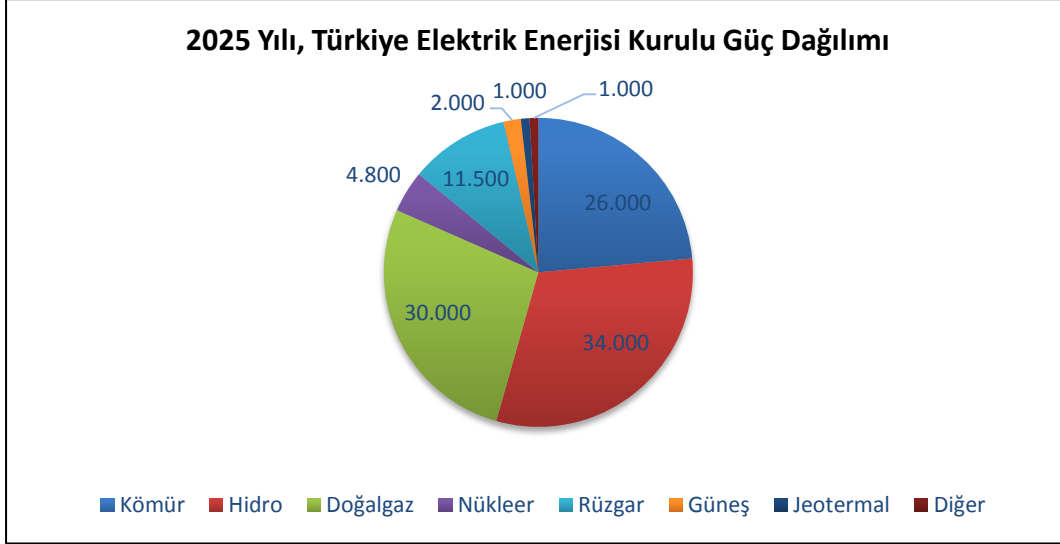


Şekil 5.16 : Farklı senaryolar çerçevesinde 2023 yılındaki Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü.

Türkiye Elektrik Piyasası'nda yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen sabit fiyatlı alım garantisi yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç içerisindeki payını arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji projelerini gerçekleştiren yatırımcılara verilen bu teşvik Türkiye Elektrik Piyasası'nda faaliyet gösteren enerji tedarik firmaları tarafından sübvansede edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik spot elektrik piyasasında Türk Lirası üzerinden satılırken teşvik kapsamında yenilenebilir enerji yatırımcısına Amerikan doları üzerinden ödeme yapılmaktadır. Teşvik fiyatı ile spot elektrik fiyatı arasındaki fark ise Türkiye'de faaliyet gösteren, perakende elektrik satışı yapan enerji tedarik firmalarına ölçekleri kapsamında maliyet olarak yansıtılmaktadır. Şekil 5.17'de farklı senaryolarda analiz edilen 2016 – 2025 yılları arasındaki spot elektrik fiyatı ile teşvik fiyatı arasındaki fark TL/\$ paritesinin 3 TL olduğu öngörülerek gösterilmiştir. Teşvik fiyatının artması ilgili kurumların rüzgar enerjisi kurulu güç hedeflerinin gerçekleşmesine katkı sağlarken spot elektrik fiyatları ile teşvik fiyatları arasındaki farkı arttırmaktadır.



Şekil 5.17 : Farklı senaryolar çerçevesinde spot elektrik fiyatları ile teşvik fiyatları arasındaki fark.



Şekil 5.18 : APUS Bilgisayar Programı 2025 Yılı Kurulu Güç Öngörüsü.

Yapılan senaryolardan bağımsız olarak APLUS Bilgisayar Programı 2025 yılında Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücünü baz senaryo kapsamında Şekil 5.18'deki gibi öngörmektedir. Ek olarak, APLUS Bilgisayar Programı, 2025 yılında yıllık elektrik talebinin 418 TWh'e ulaşmasını öngörmektedir (APLUS, 2016).

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, öncelikle enerji kavramı üzerinde durulmuş ve yenilenebilir enerji kaynakları, santralleri global ve Türkiye ölçeğinde tanıtılmıştır. Rüzgar enerjisi santralleri üzerinde özellikle durulmuş ve rüzgar santrali tipleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Günümüzün artan enerji talebi çerçevesinde, her ülke için öz kaynak durumunda olan ve yenilenebilir enerji kaynağı olması açısından tercih edilen en önemli kaynaklardan birisi olan rüzgar enerjisinin elektrik tüketimindeki payında artışın sağlanması genel olarak benimsenen enerji politikaları seçenekleri arasında yer almaktadır.

Türkiye’de şebekeye bağlı rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi 1998 yılında başlamış ve özellikle 2005 yılından itibaren özellikle 5346 sayılı Yenilenebilir Elektrik Kanununun çıkmasından sonra kurulu güç kapasitesinde her yıl önemli oranda artış göstererek tamamen işletmede olan 113 rüzgar santrali ile Ocak 2016 itibariyle 4.718MW’a ulaşmış olup 2015 yılında elektrik üretiminin %4,5’i rüzgar enerjisinden sağlanmıştır.

Türkiye’deki farklı kurumlar rüzgar enerjisi kurulu gücün artırılması amacıyla iddialı hedefler belirlemiştir. Bu hedefleri gerçekleştirilmesi amacıyla rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması çerçevesinde sabit fiyatlı alım garantisi teşviği uygulanmaktadır.

Rüzgar santrallerinin, hedefler çerçevesinde gelişim senaryoları bağlamında incelenmesi, bu yüksek lisans tezinin ana hedefi olarak seçilmiştir. Bu amaçla, bir bilgisayar kodu ile çalışılması yoluna gidilmiştir. Bu bağlamda, Türkiye Elektrik Piyasası’nın modellenmesine yönelik olarak geliştirilmiş olan APLUS Bilgisayar programı ile çalışılması benimsenmiştir. Gelişkin bir bilgisayar programı olan APLUS Bilgisayar programı ile farklı senaryolar için değerlendirmeler yapılması için bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Bir başka deyişle, APLUS Bilgisayar Programı ile Türkiye Elektrik Piyasası’ndaki rüzgar santrallerinin teşvik mekanizması

irdelenerek farklı senaryolar kapsamında elektrik fiyatları analizinin değerlendirilmesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir

APLUS Bilgisayar Programı ile 2016 – 2025 yılları arasında Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün artışı mevcut piyasa koşulları ve yatırımcılara verilen lisans çerçevesinde değerlendirilmesi belirlenmiştir. Bu bağlamda, spot elektrik fiyatları etkisi 4 farklı senaryo kapsamında analiz edilmiştir.

Birinci senaryo olan realistik senaryo kapsamında 2016 – 2025 yılları arasında toplam 9.000 MW'lık rüzgar enerjisi kurulu gücünün devreye gireceği ve 2025 yılı sonu itibariyle 13.718 MW'a ulaşılacağı ön görülmüştür. Bu öngöründe mevcut teşvik mekanizması olan, rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için 10 yıl boyunca 73 \$/MWh'lik destek ile devam edileceği düşünülerek 2016 – 2025 yılları arasındaki spot elektrik fiyatları simule edilerek incelenmiştir. Realistik senaryoda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için 73 \$/MWh'lik teşviğe devam edilmesi durumunda inşa aşamasında olan rüzgar enerjisi projelerine ek olarak EPDK tarafından lisans verilmiş fakat atıl durumda olan tüm projelerin hayata geçirileceği öngörülmüştür. Devreye giren rüzgar enerjisi kapasitesinin artması ile birlikte spot elektrik fiyatları yıl ortalamasının 112 TL/MWh alt bandı ile 135 TL/MWh üst bandında seyredeceği simule edilmiştir.

İkinci senaryo olan pesimistik senaryo kapsamında rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için 10 yıl boyunca 73 \$/MWh'lik desteğin elektrik piyasasındaki maliyetleri arttırdığı öngörülerek 60\$/MWh'e düşürülmesi göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumda rüzgar enerjisi yatırımlarının realistik senaryoya göre 2016 – 2025 yılları arasında azalacağı ve toplamda 4.750 MW'lık rüzgar enerjisi kurulu gücünün devreye gireceği öngörülmüştür. Pesimistik senaryoda 2025 yılı sonu itibariyle 9.468MW'a ulaşılacağı beklenmektedir. Bu öngöründe rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için 60 \$/MWh'lık alım garantisi teşviği ile 2016 – 2025 yılları arasındaki spot elektrik fiyatları simule edilerek incelenmiştir.

Pesimistik senaryoda, rüzgar enerjisi kurulu gücünün optimistik senaryoya göre düşük seyretmesi ile birlikte spot elektrik fiyatlarının görece artacağı sonucuna ulaşılmıştır. Spot elektrik fiyatları 2016 – 2025 yılları arasında 113 TL/MWh alt bandı ile 140 TL/MWh üst bandında seyredeceği görülmüştür.

Üçüncü senaryo olan optimistik senaryo kapsamında rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için 10 yıl boyunca 73 \$/MWh'lik desteğin rüzgar enerjisi kurulu gücünde belirlenen hedeflerin altında kalması sebebiyle 85 \$/MWh'e arttırıldığı göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumda rüzgar enerjisi yatırımlarının realistik senaryoya göre 2016 – 2025 yılları arasında artacağı ve toplamda 14.000 MW'lık rüzgar enerjisi kurulu gücünün devreye gireceği öngörülmüştür. Optimistik senaryoda 2025 yılı sonu itibariyle 18.718MW'a ulaşılacağı beklenmektedir. Bu senaryo öngörüsünde Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı tarafından 2015 yılında belirlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (BMİDÇS) 2.Maddesinde yer alan temel hedefini sağlamaya yönelik olarak niyet edilen ulusal katkı hedefleri kapsamında 2030 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücünün 16.000 MW olması hedefine 2023 yılında ulaşılacağı düşünülmektedir.

Optimistik senaryoda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için 85 \$/MWh'lık alım garantisi teşviği ile 2016 – 2025 yılları arasındaki spot elektrik fiyatları simule edilerek incelenmiştir. Spot elektrik fiyatları 2016 – 2025 yılları arasında artan rüzgar enerjisi kapasitesi ile birlikte 111 TL/MWh alt bandı ile 129 TL/MWh üst bandında seyredeceği görülmüştür.

Dördüncü senaryo, 2023 hedef senaryosu olup rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için 10 yıl boyunca 73 \$/MWh'lik desteğin 2023 yılında 20.000 MW kurulu güce ulaşmak amacıyla 95 \$/MWh'e arttırıldığı göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumda rüzgar enerjisi yatırımlarının realistik senaryoya göre 2016 – 2025 yılları arasında yaklaşık %73'lük artış gösterip, toplamda 19.000 MW'lık rüzgar enerjisi kurulu gücünün devreye gireceği öngörülmüştür. 2023 hedef senaryosunda 2025 yılı sonu itibariyle 23.718 MW'a ulaşılacağı beklenmektedir. Bu senaryo öngörüsünde Mayıs 2009 tarihli Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesinde koyulan hedef doğrultusunda Türkiye Cumhuriyetinin 100. Kuruluş yıldönümünün kutlanacağı 2023 yılında rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MW'a ulaşılacağı düşünülmektedir.

2023 hedef senaryosunda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik için 95 \$/MWh'lık alım garantisi teşviği ile 2016 – 2025 yılları arasındaki spot elektrik fiyatları simule edilerek incelenmiştir. Spot elektrik fiyatları 2016 – 2025 yılları arasında artan rüzgar enerjisi kapasitesi ile birlikte 110 TL/MWh alt bandı ile 120 TL/MWh üst bandında seyredeceği görülmüştür.

Yapılan bu yüksek lisans çalışması ile; Türkiye'deki rüzgar enerjisi santrallerinin spot elektrik fiyatlarına etkisi incelenmiştir. Farklı senaryolar kapsamında 2016 – 2025 yılları arasında mevcut teşvik mekanizması olan sabit alım garantili fiyatın devreye alınan rüzgar enerjisi santrallerinin Türkiye Elektrik Piyasası'nı nasıl etkileyeceği simule edilmiş olup analiz sonucunda rüzgar enerjisi kurulu gücünün artış göstermesi ve sabit alım garantisi fiyatının artış göstermesinin spot elektrik fiyatlarını negatif korelasyon göstererek etkilediği ortaya konmuştur.

Alım garantili teşvik kapsamında rüzgar enerjisi kurulu gücünün toplam kurulu güçteki payının artması spot elektrik piyasası fiyatlarını aşağı yönlü baskılayıcı etki göstermektedir. Elektriğin temiz, kaliteli, ucuz ve sürekli üretimi açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde artış göstermesi olumlu karşılanabilir. Ancak, rüzgar, güneş gibi doğal kaynaklar üretkenlik bakımından değişkenlik göstermektedir. Güneşin parladığı ya da rüzgarın estiği günler ülkede elektrik talebinin yüksek olduğu günlerle eşleşmezse beklenmedik enerji kesintileri yaşanabilir. Bu sebeple, kesintisiz ve sürdürülebilir bir enerji portföyü içinde yenilenebilir enerjinin rolü baz yük elektrik santrallerini destekleyici şekilde planlanmalıdır denebilir.

Baz yük elektrik santrallerinin sürdürülebilirliği enerji güvenliği açısından son derece önemlidir. Elektrik enerjisine olan talebin anlık olarak karşılanma zorunluluğu enerji politikalarına yön veren en etkili parametrelerin başında gelmektedir. Dolayısıyla elektrik arzının sürdürülebilirliği açısından baz yük enerji santral yatırımlarının kesintisiz elektrik talebini karşılama açısından devam etmesi gerekmektedir. Buna karşın, öz kaynak olan rüzgar enerjisi payının, marjinal enerji temini bağlamında yadsınamaz önemi de kendini göstermektedir.

Enerji yatırımları, piyasaya, teknolojiye, arza, talebe göre yapılan uzun vadeli yatırımlardır. Uzun vadeli yatırımların fizibilitesi piyasadaki mevcut koşullara göre belirlenmektedir. Elektrik piyasasında ise yatırımcılar spot elektrik fiyatlarını baz alarak yatırım kararı vermektedir. Spot elektrik piyasası fiyatlarının düşük seyretmesi serbestleşen Türkiye Elektrik Piyasası'nda baz yük enerji santrallerine yapılacak olan yatırımları negatif yönde etkileyebilir.

Öz olarak, Türkiye Elektrik Piyasası'nda rüzgar enerjisinden üretilen elektrik enerjisine verilen alım garantili teşviklerin bu seviyede devam ettiği sürece spot

piyasadaki elektrik fiyatlarını 2016-2025 yılları arasında nispeten düşük seyredeceği APLUS Bilgisayar Programı ile simule edilmiştir. Sürdürülebilir teşvik mekanizması için dinamik bir mekanizma gerekmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile daha verimli hale gelen, kapasite faktörü artan rüzgar enerjisi santralleri için verilecek olan teşviğin sabit fiyatlı alım garantisi yerine spot elektrik piyasası fiyatlarına göre ekstra prim verilmesi sürdürülebilir bir elektrik piyasası oluşumuna katkı sağlayacaktır.





KAYNAKLAR

- Ackerman, T., Söder, L.** (2002). An Overview of Wind Energy Status, Renewable and Sustainable Energy Reviews, (Vol. 6, pp. 67-128). Pergamon Press.
- Akova, İ.** (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ankara : Nobel Yayıncılık
- Aksoy, S., Eryiğit, E., Ceylan, Hashimova. N., İşbilir, M., Avşar, Z., Köksal, G., Terciyanlı, E.** (2013). Rüzgar Gücü Üretimi İçin Tahmin ve Teklif Sistemi Tasarımı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 3-4, 4-15.
- Altın, V.** (2002). Enerji. Tübitak Bilim ve Teknik.
- Altuntaşoğlu, T. Z.** (2005). Yenilenebilir Enerji Avrupa Birliği ve Türkiye Müktesebatı. EMO- TMMOB Türkiye V. Enerji Sempozyumu (21-23 Aralık 2005) Bildirileri, (s. 249- 261). Ankara
- APLUS.** (2015). AVIEW-MarketSim Fundamental Energy Price Forecast Model. APLUS Energy Investment Technology Consultancy, İstanbul.
- Ay, S.** (2008). Ekonomistler ve işletmeler için Elektrik Enerjisi Ekonomisi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Barutçu, B.** (2014). Wind Energy&Conversion Technology Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Blanco, M.I.** (2009). The Economics of Wind Energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- BP,** (2015). BP Statistical Review of World Energy. Londra
- Busby, R.L.** (2012). Wind Power. (Vol. 1, pp. 45-59). Oklahama : Penn Well Corporation.
- Canik, B.** (2000). *Jeotermal Enerji*. Ankara : Ankara Üniversitesi
- Cansın, Y., Sohtaoglu, N.H.** (2009). OECD/IEA Ülkelerinin AR-GE Harcamalarındaki Eğilimler Kapsamında Yenilenebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmelerin İncelenmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır
- Demir, M.** (2010). Demir Enerji Oyunu, İstanbul, Ayrım Yayınları.
- Durak M., Özer S.** (2008). Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama. (1.Baskı, s. 197-227). Ankara : İmpress Baskı.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.** (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi. Ankara.
- Eğilmez, M.** (2004). Hazine, Remzi Kitabevi, İstanbul.
- El-Osta, W., Kalifa, Y.** (2002). Prospects of wind power plants in Libya: a case study Renewable Energy.

- Eniş, A.** (2003). Enerji Politikaları İle Yerli, Yeni Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları: TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyumu Bildirileri. Ankara.
- European Investment Bank.** (2013). The Economic Appraisal of Investment Projects.
- European Wind Energy Assosiaciton.** (2012). Energy Production Cost Report.
- Freris, L. L.** (1990). Wind Energy Conversion Systems, Prentice Hall International (UK) Ltd. University Press, Cambridge.
- Global Wind Energy Council.** (2015). Global Wind Statistics.
- Greepeace.** (2011). Solar Photovoltaic Electricity Empowering The World. The Netherlands.
- Günerhan, H.** (2015). Jeotermal Enerji Kullanımının Endüstriyel Uygulamaları. Mühendis ve Makina, 664, (s. 48-53).
- Hatipoğlu, A.** (2010). Rüzgar Santrallerinde Rüzgar Karakteristiği ve Saha Topografisine Göre Türbin Seçimi ve Yerleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- International Energy Agency.** (2007). Implementing Agreement on Ocean Energy Systems (IEA-OES), Yıllık Rapor.
- International Renewable Energy Agency.** (2015). Renewable Energy Capacity Statistics
- International Renewable Energy Agency.** (2014). Renewable Energy Cost Report
- Işık, A., Organ, İ., Karayılmazlar, E.** (2005). Kamu Maliyesi, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.
- İlkılıç, C.** (2003). Rüzgar Enerjisi ve Kullanımı, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları 4.
- İmre, E.** (2001). Türkiye’de Yap-İşlet-Devret Modeli; Yasal Çatısı, Uygulaması.
- Karakaya, E.** (2009). Türkiye İçin Post-Kyoto Müzakerelerine Yönelik Bir Strateji Önerisi. TİSK İşveren Dergisi, Şubat 2009, (s. 37-41).
- Kaya, S.** (2003). Dünya Bankası ve Dünya Bankası Kredilerinin Denetimi.
- Kaygusuz, K.** (2003). Energy Policy and Climate Change in Turkey. Energy Conversion and Management, 44, (s. 1671-1688).
- Kaya, K., Koç, E.** (2015). Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinde Kanat Pro I Tasarımı ve Üretim Esasları. Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 670, (s. 38-48).
- Kheirollahi, H., Tofigh, F.** (2015). Sensitivity and Risk Analysis of the Economic Evaluation of Investment Projects Case Study: Development Plan In Sufian Cement Plant.
- Koç, E., Kaplan, E.** (2008). Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi. *Termodinamik Dergisi*, 187, 70-80.
- Koç, E., Kaplan, E.** (2008). Dünyada ve Türkiye’de genel enerji durumu-II Türkiye Değerlendirilmesi. *Termodinamik Dergisi*, 188, (s.106-188).

- Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Arıcı, Ş., Bayrakçı, A. G.** (2013). Biyokütle Enerjisine Sektörel Yaklaşım: İzmir Örneği. *Mühendis ve Makina*, 639, (s. 78-85).
- Kurt, G.** (2011). Dişli Kutulu ve Dişli Kutusuz Rüzgar Türbini-Generatör Sistemlerinin Karşılaştırılması. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, 5-7 Ekim.
- Ragheb, M.** (2015). *Economics of Wind Energy*.
- Mathew, S.** (2006), "Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics", Springer Publication, New York.
- Müftüoğlu, T.** (1999). *İşletme İktisadı*, Türhan Kitabevi, Ankara.
- National Renewable Energy Laboratory.** (2014). *Cost of Wind Energy Review*.
- Nurbay, N., Çınar, A.** (2005). Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması. *Kocaeli : Kocaeli Üniversitesi*
- Onat, C., Cambazoglu, S.** (2002). Rüzgar Türbinlerinin Ekonomisi Üzerine Bir Araştırma, *Mühendis ve Makine Dergisi*, sayı: 504
- Oruç, N.** (2008). Şeker Pancarından Alternatif Yakıt Kaynağı Olarak Biyoetanol Üretimi, Eskişehir Şeker-Alkol Fabrikası Örneği. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul.
- Öztürk, H.** (2008). Rüzgar enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Ankara : Teknik Yayınevi.
- Pasin, S., Tutuş, A.** (2009). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller. Türkiye 11. Enerji Kongresi, 21-23 Ekim 2009, İzmir.
- Sarıaltın, H.** (2011). Finansal Yönetim ve Finansal Yönetimin Ana Çerçevesi Semineri.
- Sarıaslan, H.** (1994). Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi, Turhan Kitabevi, Ankara.
- Sayılğan, G.** (2008). Soru ve Yanıtlarıyla İşletme Finansmanı (3. Baskı b.). Ankara: Turhan Kitabevi.
- Şahin, H.** (1998). Yatırım Projeleri Analizi, Ezgi Kitabevi Yayınları, Bursa.
- Şenel, M. C.** (2012). Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Tuğrul, A.B.** (2012). "Enerji Santralleri ve Farklı Yönlerden Mukayeseli Değerlendirilmesi", 18. Uluslararası Enerji ve Çevre Konferansı ICCI-2012, İstanbul, 25-27 Nisan 2012, Bildiri Kitabı s:1-4.
- Tunç, Ş.** (2009). Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi, Saha ve Potansiyel Belirleme, Ankara.
- Tutuş, A.** (2005). Barajlar ve Hidroelektrik Santraller. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, (s. 129). Mersin Üniversitesi.
- Uğurel, Ş.** (2010). Türkiye’de Metro Projeleri Yatırımlarının Geri Dönüşüm Sürelerinin Belirlenmesi ve Bu Sürenin Optimizasyonu İçin Öneriler Yüksek Lisans Tezi, İTÜ FBE.

Uluatam, E. (2010). Yenilenebilir Enerji Teşvikleri. Ekonomik Forum Dergisi, 35-36.

Varank, G., Varınca, K. (2006). Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Varınca, K. B., Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Eskişehir : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Yescombe, E.R. (2002). Principles of Project Finance.

Yücel, F. B. (1994). Enerji Ekonomisi, Febel Yayınları, İstanbul.

Wiser, R. H., Bollinger, M. (2014). 2013 Wind Technologies Market Report, LBNL, CA.

Woodruff, W. (2010). Modern Dünya Tarifi. İstanbul : Pozitif Yayınları

Url-1 <<http://www.dsi.gov.tr>>, erişim tarihi 05.09.2015.

Url-2 <<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/hidrolik.aspx>>, erişim tarihi 05.09.2015.

Url-3 <<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeotermal.aspx>>, erişim tarihi 14.09.2016.

Url-4 <<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle.aspx>>, erişim tarihi 22.09.2015.

Url-5 <<https://www.ocean-energy-systems.org/about-oes/what-is-ocean-energy/>>, erişim tarihi 22.09.2015.

Url-6 <www.marineturbines.com>, erişim tarihi 30.09.2015.

Url-7 <<http://www.dektmk.org.tr>>, erişim tarihi 30.09.2015.

Url-8 <<http://www.normenerji.com.tr/>>, erişim tarihi 17.10.2015.

Url-9 <<http://www.enerji.gov.tr/>>, erişim tarihi 28.10.2015.

Url-10 <<http://lisans.epdk.org.tr/>>, erişim tarihi 07.11.2015.

Url-11 <https://www.mta.gov.tr/v2.0/tek_dosyalar/MTA-2012-yili-faaliyet-raporu.pdf>, erişim tarihi 08.11.2015.

Url-12 <<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/gunes.aspx>>, erişim tarihi 28.11.2015.

Url-13 <<http://www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/Elektrik/Mevzuat/Kanunlar>>, erişim tarihi 16.01.2016.

Url-14 <<http://www.cografyam.org/>>, erişim tarihi 20.01.2016.

Url-15 <<https://en.wikipedia.org/>>, erişim tarihi 28.01.2016.

Url-16 <<https://bagustrinuscahyo.wordpress.com/>>, erişim tarihi 10.02.2016.

Url-17 <<http://www.wind-works.org/>>, erişim tarihi 16.02.2016.

Url-18 <<http://ele.aut.ac.ir/>>, erişim tarihi 17.02.2016.

Url-19 <<http://www.windsides.com>>, erişim tarihi 19.02.2016.

- Url-20** <<http://www.mywind.com.cn/>>, erişim tarihi 21.02.2016.
- Url-21** <<http://www.wind-energy-the-facts.org/>>, erişim tarihi 21.02.2016.
- Url-22** <<https://www.kinderdijk.nl/>>, erişim tarihi 21.02.2016.
- Url-23** <<http://www.gwec.net/>>, erişim tarihi 23.02.2016.
- Url-24** <<http://www.londonarray.com/>>, erişim tarihi 23.02.2016.
- Url-25** <<http://www.iea.org/>>, erişim tarihi 25.02.2016.
- Url-26** <<http://www.teias.gov.tr/>>, erişim tarihi 26.02.2016.
- Url-27** <<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar.aspx>>, erişim tarihi 04.03.2016.
- Url-28** <<http://www.mgm.gov.tr/>>, erişim tarihi 06.03.2016.
- Url-29** <<http://about.bnef.com/category/presentations/>>, erişim tarihi 06.03.2016.
- Url-30** <<http://web.gyte.edu.tr/enerji/ruzgarenerji/d3.html>>, erişim tarihi 07.03.2016.
- Url-31** <<http://www.lbl.gov>>, erişim tarihi 11.03.2016.
- Url-32** <<http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.4.213.pdf>>, erişim tarihi 14.03.2016.
- Url-33** <<http://www.resmigazete.gov.tr/default.aspx>>, erişim tarihi 14.03.2016.
- Url-34** <<http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.488.pdf>>, erişim tarihi 14.03.2016.
- Url-35** <<http://www.ekonomi.gov.tr/>>, erişim tarihi 19.03.2016.
- Url-36** <<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/12/20051231-54.htm>>, erişim tarihi 19.03.2016.,
- Url-37** <<http://campus.murraystate.edu/academic/faculty/larry.guin/FIN330/>>, erişim tarihi 19.03.2016.
- Url-38** <<http://www.fao.org/docrep/W4343E/w4343e07.htm>>, erişim tarihi 20.03.2016.
- Url-39** <<http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/>>, erişim tarihi 20.03.2016.
- Url-40** <<http://www.bidb.itu.edu.tr/>>, erişim tarihi 20.03.2016.
- Url-41** <<http://www.tureb.com.tr/yayinlar>>, erişim tarihi 20.03.2016.
- Url-42** <http://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2015_2019_Stratejik_Plan.pdf>, erişim tarihi 24.03.2016.
- Url-43** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Stratejik-Plan>>, erişim tarihi 24.03.2016.



EKLER

EK A: Rüzgar Enerjisi Santrali İşletme ve Bakım Maliyeti



EK A**Çizelge A.1 : Analizi yapılan rüzgar enerjisi santralının 2017-2026 yıllarına ilişkin sabit ve değişken maliyet verileri.**

İşletme Yılı	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Sabit Maliyet										
Rüzgar Türbin (O&M)	540.000 €	540.000 €	660.000 €	660.000 €	660.000 €	696.000 €	696.000 €	696.000 €	696.000 €	696.000 €
Elektrik Sistemi										
Dengeleme	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €
Sigorta	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €
İletim Sistem Bedeli	169.060 €	169.060 €	169.060 €	169.060 €	169.060 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €
Mühendislik İşleri	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €
Arazi Kira Bedeli	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €
Denetim	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €
Katkı Payı (0,5 €/MWh)	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €
Toplam Sabit Maliyet	980.460 €	980.460 €	1.100.460 €	1.100.460 €	1.100.460 €	1.305.520 €	1.305.520 €	1.305.520 €	1.305.520 €	1.305.520 €
Değişken Maliyetler										
Personel	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €
Güvenlik Harcamaları	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €
Araç ve Akaryakıt	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €
Eskalasyon %	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,34	1,42	1,50	1,59	1,69
Toplam Değişken Maliyet	145.000 €	153.700 €	162.922 €	172.697 €	183.059 €	194.043 €	205.685 €	218.026 €	231.108 €	244.974 €
Toplam İşletme Maliyeti	1.125.460 €	1.134.160 €	1.263.382 €	1.273.157 €	1.283.519 €	1.499.562 €	1.511.205 €	1.523.546 €	1.536.628 €	1.550.494 €

Çizelge A.2 : Analizi yapılan rüzgar enerjisi santralının 2027-2036 yıllarına ilişkin sabit ve değişken maliyet verileri.

İşletme Yılı	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Sabit Maliyet										
Rüzgar Türbin (O&M)	744.000 €	744.000 €	744.000 €	744.000 €	840.000 €	840.000 €	840.000 €	840.000 €	840.000 €	840.000 €
Elektrik Sistemi										
Dengeleme	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €	12.000 €
Sigorta	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €	125.000 €
İletim Sistem Bedeli	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €	338.120 €
Mühendislik İşleri	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €
Arazi Kira Bedeli	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €
Denetim	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €	24.400 €
Katkı Payı (0,5 €/MWh)	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €	55.000 €
Toplam Sabit Maliyet	1.353.520 €	1.353.520 €	1.353.520 €	1.353.520 €	1.449.520 €	1.449.520 €	1.449.520 €	1.449.520 €	1.449.520 €	1.449.520 €
Değişken Maliyetler										
Personel	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €	70.000 €
Güvenlik Harcamaları	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €	50.000 €
Araç ve Akaryakıt	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €	25.000 €
Eskalasyon %	1,79	1,90	2,01	2,13	2,26	2,40	2,54	2,69	2,85	3,03
Toplam Değişken Maliyet	259.673 €	275.253 €	291.768 €	309.275 €	327.831 €	347.501 €	368.351 €	390.452 €	413.879 €	438.712 €
Toplam İşletme Maliyeti	1.613.193 €	1.628.773 €	1.645.288 €	1.662.794 €	1.777.351 €	1.797.021 €	1.817.871 €	1.839.972 €	1.863.399 €	1.888.232 €



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : İbrahim Halil KILIÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : Birecik, 1990
E-posta : ibrhmalilkc@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ayen Energy Trading : Asistant Manager of Power Trading (2016 -)
- Eksim Yatırım Holding : Enerji Ticaret Uzmanı (2016 - 2016)
- Dinamo Elektrik : Enerji Ticaret Uzmanı (2015 - 2016)
- TÜV NORD GmbH : Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Proje Mühendisi (2014 - 2015)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Kılıç. İ.H. ve Tuğrul A. B., 2016: Wind Power Assessment for Turkey and Evaluation by APLUS Code, ICREEM 2016 : 18th International Conference on Renewable Energy and Energy Management, Haziran 2016, Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri